

"十三五"职业教育规划教材

高职高专土建专业"互联网+"创新规划教材



第二版

建筑力学与结构（少学时版）

吴承霞　宋贵彩◎主编

- 采用最新规范编写，围绕两套建筑结构施工图展开讲解
- 紧跟互联网时代步伐，以"互联网+"思维拓展阅读内容
- 采用AR虚拟现实技术，平面图变三维立体模型，多角度查看



扫一扫联系客服



电子课件



三维模型教学





钢筋混凝土梁、板及构造



教学目标

掌握受弯构件的构造要求；理解结构构件的设计结果是通过计算书和施工图来表达的；了解预应力的概念及其构造。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
利用钢筋混凝土材料性能解决实际工程问题	钢筋、混凝土材料的种类，强度等级，混凝土与钢筋的黏结力	20%
在实际工程中理解和运用受弯构件构造知识	混凝土保护层，钢筋的锚固长度，钢筋的连接方式，梁、板构件的构造规定	70%
正确理解预应力板、梁构造要求	预应力构件中施加预应力的方法，预应力梁板构件的构造要求等	10%

学习重点

钢筋的分类及强度指标、混凝土的强度等级、钢筋和混凝土之间的黏结力、受弯构件的相关构造要求，预应力板、梁的构造要求及施加预应力的方法。



引例

1. 工程与事故概况

某教学楼为3层混合结构，纵墙承重，外墙厚300 mm，内墙厚240 mm，灰土基础，楼盖为现浇钢筋混凝土肋形楼盖，平面示意如图6.1所示。

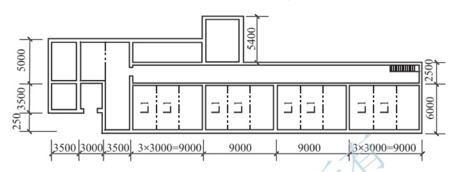


图6.1 建筑平面图

该工程在10月浇筑第二层楼盖混凝土，11月初浇筑第三层楼盖，主体结构于次年1月完成。4月做装饰工程时，发现大梁两侧的混凝土楼板上部普遍开裂，裂缝方向与大梁平行。凿开部分混凝土检查，发现板内负钢筋被踩下。施工人员决定加固楼板，7月施工，板厚由70 mm增加到90 mm。

该教学楼使用后，各层大梁普遍开裂。

2. 事故原因分析

1) 施工方面的问题

(1) 浇筑混凝土时，把板中的负弯矩钢筋踩下，造成板与梁连接处附近出现通长裂缝。

(2) 出现裂缝后，采用增加板厚20 mm的方法加固，使梁的荷重加大而开裂明显。

(3) 混凝土水泥用量过少，每立方米混凝土仅用水泥0.21t。

(4) 第二层楼盖浇完后2 h，就在新浇楼板上铺脚手板，大量堆放砖和砂浆，并进行上层砖墙的砌筑，施工荷载超载和早龄期混凝土受振动是事故的重要原因之一。

(5) 混凝土强度低：第三层楼盖浇筑混凝土时，室内温度已降至0～1℃，没有采取任何冬期施工措施。试块强度21d才达到设计值的42.5%。此外，混凝土振实差、养护不良以及浇筑前模板内杂物未清理干净等因素，也造成混凝土强度低下。

2) 设计方面存在的问题

(1) 对楼板加厚产生的不利因素考虑不周。

(2) 梁箍筋间距太大。梁箍筋为φ6@300 mm，箍筋间距太大。

(3) 纵向钢筋截断处均有斜裂缝，其原因是违反设计规范“纵向钢筋不宜在受拉区截断”的构造规定而造成。

6.1 混凝土结构的材料性能

我们在引例中看到，事故中的教学楼楼板属于钢筋混凝土结构构件，涉及钢筋和混凝土两种建筑材料，本节将介绍其性能。

6.1.1 钢筋

混凝土结构对钢筋的性能有以下四方面的要求。

(1) 强度要高。采用强度较高的钢筋，可以节约钢材。例如，HPB300 级钢筋的强度设计值为 270 kN/mm^2，而 HRB400 级钢筋的强度设计值为 360 kN/mm^2，所以采用 HRB400 级钢筋较 HPB300 级钢筋可以节约 25% 左右的钢材。

(2) 延性要好。所谓延性好，是指钢材在断裂之前有较大的变形，能给人以明显的警示；如果延性不好，就会在没有任何征兆时发生突然脆断，后果严重。

(3) 焊接性能要好。良好的焊接性使钢筋能够按照使用需要焊接，而不破坏其强度和延性。

(4) 与混凝土之间的黏结力要强。黏结力是钢筋与混凝土两种不同材料能够共同工作的基本前提之一。如果没有黏结力，两种材料不能成为一个整体，也就谈不上钢筋混凝土构件了。

1. 钢筋的品种、级别

钢材的品种繁多，能满足混凝土结构对钢筋性能要求的钢筋，分为普通钢筋混凝土钢筋和预应力混凝土钢筋两大类。还可以按力学性能、化学成分、加工工艺、轧制外形等进行分类，如图 6.2 所示。


【钢筋】

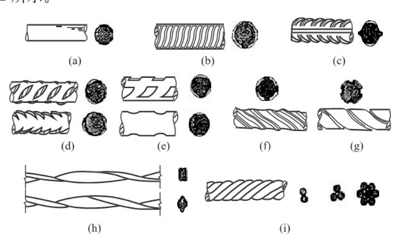


图 6.2 各类钢筋的形状

(a) 光面钢筋 (钢丝)；(b) 等高肋钢筋 (人字纹、螺旋纹)；(c) 月牙肋钢筋；(d) 冷轧带肋钢筋；(e) 刻痕钢丝 (两面、三面)；(f) 螺旋肋钢丝；(g) 螺旋槽钢丝；(h) 冷轧扭钢筋 (矩形、菱形)；(i) 绳状钢绞线 (2 股、3 股、7 股)

钢筋的具体分类见表 6-1 和表 6-2。热轧带肋钢筋的牌号由 HRB 和牌号的屈服点最小值构成，其中“H”“R”“B”分别代表“热轧”“带肋”“钢筋”三个词。例如，HRB400 表示屈服强度标准值为 400MPa 的热轧带肋钢筋；HRBF500 表示屈服强度标准值为 500MPa 的细晶粒热轧带肋钢筋。

表 6-1 普通钢筋分类

分类 / 符号	按力学性能分（屈服强度）/(N/mm^2)	按加工工艺分	按轧制外形分	按化学成分分	公称直径 d/mm
ϕ	HPB300 (300)	热轧 (H)	光圆 (P)	低碳钢	6 ～ 14
ϕ	HRB335 (335)	热轧 (H)	带肋 (R)	低合金钢	6 ～ 14
ϕ	HRB400 (400)	热轧 (H)	带肋 (R)	低合金钢	6 ～ 50
$ϕ^F$	HRBF400 (400)	细晶粒热轧 (F)	带肋 (R)	低合金钢	6 ～ 50
$ϕ^R$	RRB400 (400)	余热处理 (R)	带肋 (R)	低合金钢	6 ～ 50
ϕ	HRB500 (500)	热轧 (H)	带肋 (R)	低合金钢	6 ～ 50
$ϕ^F$	HRBF500 (500)	细晶粒热轧 (F)	带肋 (R)	低合金钢	6 ～ 50

表 6-2 预应力钢筋分类

分类 / 种类	符号	按轧制外形分	按化学成分分	公称直径 d/mm
中强度预应力钢丝	$ϕ^{PM}$ $ϕ^{HM}$	光面螺旋肋	中碳低合金钢	5、7、9
预应力螺纹钢筋	$ϕ^T$	螺纹	中碳低合金钢	18、25、32、40、50
消除应力钢丝	$ϕ^P$ $ϕ^H$	光面螺旋肋	高碳钢	5、7、9
钢绞线	$ϕ^S$	三股	高碳钢	8.6、10.8、12.9
		七股		9.5、12.7、15.2、17.8、2.6

2. 钢筋的力学性能

1) 钢筋的拉伸试验

钢筋的力学性能指标是通过钢筋的拉伸试验得到的。

图 6.3 是热轧低碳钢在试验机上进行拉伸试验得出的典型应力应变曲线。图中 c ～ d 段称为屈服台阶，说明低碳钢有良好的纯塑性变形性能。低碳钢在屈服时对应的应力 f_y 称为屈服强度，是钢筋强度设计时的主要依据。应力的最大值 f_u 称为极限抗拉强度。极限抗拉强度

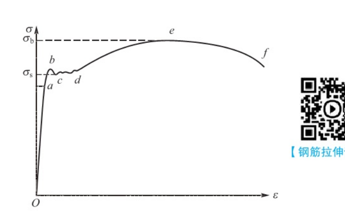


图 6.3 有明显屈服点钢筋的应力 – 应变关系

与屈服强度的比值 f_u/f_y，反映钢筋的强度储备，称为强屈比。钢筋拉断后的伸长值与原始长度的比率称为延伸率 δ，是反映钢筋延性性能的指标。延伸率大的钢筋，在拉断前有足够变形，延性较好。

图 6.4 是高强钢丝的应力－应变曲线。高强钢丝的应力－应变曲线没有明显的屈服点，表现出强度高、延性低的特点。设计时取残余应变为 0.2% 时的应力 $\sigma_{0.2}$ 作为假想屈服强度，称为"条件屈服强度"。

2) 钢筋的冷弯试验

在常温下将钢筋绕规定的弯心直径 D 弯曲 α 角度，不出现裂纹、鳞落和断裂现象，即认为钢筋的冷弯性能符合要求 (图 6.5)。

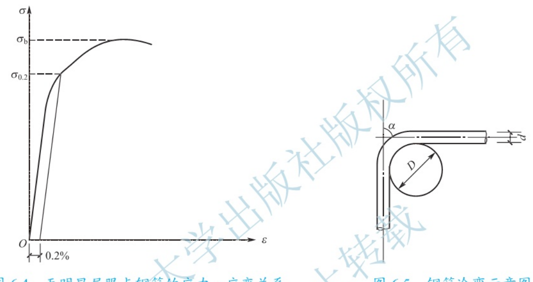


图 6.4　无明显屈服点钢筋的应力－应变关系　　图 6.5　钢筋冷弯示意图

特别提示

对有明显屈服点的钢筋进行质量检验时，主要测定四项指标：屈服强度、极限抗拉强度、延伸率和冷弯性能。对没有明显屈服点钢筋的质量检验须测定三项指标：极限抗拉强度、延伸率和冷弯性能。

3. 钢筋的强度指标

1) 钢筋强度标准值

为保证结构设计的可靠性，对同一强度等级的钢筋，取具有一定保证率的强度值作为该等级的标准值。《混凝土结构设计规范》规定，钢筋材料强度的标准值应具有不少于 95% 的保证率。

2) 钢筋强度设计值

钢筋强度设计值为钢筋强度标准值除以材料的分项系数 γ_s。《混凝土结构设计规范》规定，钢筋混凝土结构按承载力设计计算时，钢筋应采用强度设计值。

普通钢筋、预应力钢筋强度标准值、设计值及钢筋弹性模量见附录 D 的表 D1、表 D2。

6.1.2 混凝土

1. 混凝土的强度

为了设计、施工和质量检验的方便，必须对混凝土的强度规定统一的等级，混凝土立方体抗压强度是划分混凝土强度等级的主要标准。

1) 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$

立方体抗压强度标准值是按照标准方法制作、标准条件养护的边长为 150 mm × 150 mm × 150 mm 的立方体试件，在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度，用符号 $f_{cu,k}$ 表示。依此将混凝土划分为 14 个强度等级：C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。C 代表混凝土强度等级，数字代表混凝土承受的抗压强度值，单位为 N/mm^2。C50 ～ C80 属高强度混凝土。

2) 混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck}

实际工程中钢筋混凝土构件的长度要比截面尺寸大得多，故取棱柱体 (150 mm × 150 mm × 300 mm 或 150 mm × 150 mm × 450 mm) 标准试件测定混凝土轴心抗压强度。


【混凝土立方体抗压强度试验】

3) 混凝土轴心抗拉强度标准值 f_{tk}

轴心抗拉强度远低于轴心抗压强度。

特别提示

混凝土的强度等级是用立方体抗压强度来划分的。

混凝土轴心抗压强度和轴心抗拉强度都可通过对比试验由立方体抗压强度推算求得，三者之间的大小关系是：$f_{cu,k}>f_{ck}>f_{tk}$。

2. 混凝土的计算指标

1) 混凝土强度标准值

混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 和轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 具有 95% 的保证率。

2) 混凝土强度设计值

混凝土强度设计值表示为混凝土强度标准值除以混凝土的材料分项系数 γ_c，即 $f_c=f_{ck}/\gamma_c$，$f_t=f_{tk}/\gamma_c$。

混凝土强度标准值、设计值及混凝土弹性模量见附录 D 的表 D3。

3. 混凝土的收缩和徐变

1) 混凝土的收缩

混凝土在空气中硬化体积缩小的现象称为混凝土的收缩。混凝土的收缩对混凝土的构件会产生有害的影响，使构件产生裂缝，对预应力混凝土构件会引起预应力损失等。

减少收缩的主要措施：控制水泥用量及水灰比、混凝土振捣密实、加强养护等，对纵向延伸的结构，在一定长度上需设置伸缩缝。

2) 混凝土的徐变

混凝土在长期不变荷载作用下应变随时间继续增长的现象叫做混凝土的徐变。徐变对结构产生的不利影响是：增大构件变形、引起应力重分布，使预应力构件中的预应力损失大大增加。

影响混凝土徐变的主要因素：①水泥用量越大、水灰比越大，徐变越大；②混凝土强度等级高，则徐变小；③构件龄期长、结构致密，则徐变小；④骨料用量多，最大粒径大，则徐变小；⑤应力水平越高，徐变越大；⑥养护温度越高，湿度越大，徐变越小。

4. 混凝土的耐久性

对于一般建筑结构，设计使用年限为 50 年，重要的建筑物可取为 100 年。混凝土的耐久性是指混凝土在所处环境条件下经久耐用的性能。不利于混凝土的外部环境因素包括酸、碱、盐的腐蚀作用，冰冻破坏作用，水压渗透作用，碳化作用，干湿循环引起的风化作用，荷载应力作用和振动冲击作用等；内部不利因素包括碱骨料反应和自身体积变化。

通常用混凝土的抗渗性、抗冻性、抗碳化性能、抗腐蚀性能和碱骨料反应综合评价混凝土的耐久性。《混凝土结构设计规范》对混凝土结构耐久性做了明确规定，应根据规定的设计使用年限和环境类别进行设计。混凝土结构的环境类别应根据附录 D 的表 D4 划分。设计使用年限为 50 年的混凝土结构，其混凝土材料应符合附录 D 中表 D5 的规定。

6.1.3 钢筋和混凝土之间的黏结力

1. 黏结力的组成

黏结力是钢筋和混凝土能有效地结合在一起共同工作的必要条件。钢筋与混凝土之间的黏结力由以下三部分组成。

(1) 由于混凝土收缩将钢筋紧紧握裹而产生的摩阻力。

(2) 由于混凝土颗粒的化学作用产生的混凝土与钢筋之间的胶合力。

(3) 由于钢筋表面凹凸不平与混凝土之间产生的机械咬合力。

上述三部分中，以机械咬合力作用最大，约占总黏结力的一半以上。

2. 保证钢筋与混凝土黏结力的构造措施

钢筋与混凝土黏结力在构件设计时采取有效的构造措施加以保证。例如，钢筋伸入支座应有足够的锚固长度；保证钢筋最小搭接长度；钢筋的间距和混凝土的保护层不能太小；要优先采用小直径的变形钢筋；光面钢筋末端应设弯钩；钢筋不宜在混凝土的受拉区截断；在大直径钢筋的搭接和锚固区域内宜设置横向钢筋 (如箍筋) 等，以上构造措施的具体规定详见 6.2 节。

6.2 钢筋混凝土梁、板的构造规定

6.2.1 一般规定

1. 钢筋级别及混凝土强度等级的选择

1) 混凝土结构中钢筋选用的规定

纵向受力普通钢筋宜选用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，也可采用

HRB335、HPB300、RRB400 钢筋。其中 HRB400 级钢筋具有强度高、延性好、与混凝土结合握裹力强等优点，是目前我国钢筋混凝土结构的主力钢筋。

箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335 钢筋。

预应力钢筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

2) 混凝土材料的选用原则

钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20；采用强度级别 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C25。

承受重复荷载的钢筋混凝土构件，混凝土强度等级不应低于 C30。

预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。

2. 混凝土保护层

在钢筋混凝土构件中，为防止钢筋锈蚀，并保证钢筋和混凝土牢固黏结在一起，钢筋外面必须有足够厚度的混凝土保护层。结构构件由钢筋的外边缘到构件混凝土表面的范围用于保护钢筋的混凝土称为混凝土保护层 (图 6.6)。

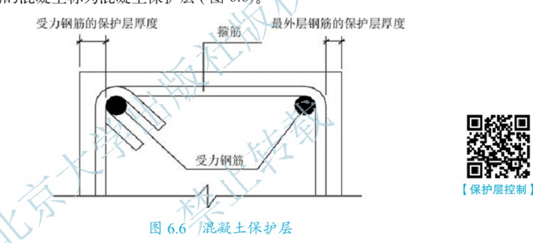


图 6.6　混凝土保护层

【保护层控制】

混凝土保护层的作用如下。

(1) 维持受力钢筋与混凝土之间的黏结力。

(2) 保护钢筋免遭锈蚀。混凝土的碱性环境使包裹在其中的钢筋不易锈蚀。一定的保护层厚度是保证结构耐久性所必需的条件。

(3) 提高构件的耐火极限。混凝土保护层具有一定的隔热作用，遇到火灾时使其强度不致降低过快。

《混凝土结构设计规范》规定，混凝土结构构件中受力钢筋的保护层厚度不应小于钢筋的直径 d。设计使用年限为 50 年的混凝土结构，最外层钢筋保护层厚度应符合附录 D 中表 D6 的规定；设计使用年限为 100 年的混凝土结构，应按附录 D 中表 D6 的规定增加 40%；当采取有效的表面防护及定期维修等措施时，保护层厚度可适当减薄。

3. 钢筋的锚固

为了保证钢筋与混凝土之间的可靠黏结，钢筋中须有一定的锚固长度，如果钢筋锚固长度不够，将会使构件提前破坏，引起承载力丧失并引发垮塌等灾难性后果。

1) 钢筋的基本锚固长度 l_{ab}

普通钢筋的基本锚固长度为

$$l_{ab}=\alpha\frac{f_y}{f_t}d \tag{6-1}$$

式中，f_y——受拉钢筋的抗拉强度设计值 (N/mm²)；

f_t——锚固区混凝土轴心抗拉强度设计值，当混凝土强度等级大于 C40 时按 C40 考虑 (N/mm²)；

d——锚固钢筋的直径 (mm)；

α——钢筋的外形系数，按表 6-3 取值。

表 6-3　锚固钢筋的外形系数 α

钢筋类型	光面钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	三股钢绞线	七股钢绞线
钢筋外形系数 α	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17

注：光面钢筋末端应做 180° 弯钩，弯后平直段长度不应小于 $3d$，但作为受压钢筋时可不做弯钩。

2) 受拉钢筋的锚固长度 l_a

受拉钢筋的锚固长度应根据具体锚固条件按式 (6-2) 计算，且不应小于 200 mm。

$$l_a=\zeta_a l_{ab} \tag{6-2}$$

式中，ζ_a——锚固长度修正系数，按下列规定取用，当多于一项时，可按连乘计算，但不应小于 0.6。

① 当带肋钢筋的公称直径大于 25 mm 时取 1.10。

② 环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25。

③ 施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10。

④ 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时，修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值，但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件，不应考虑此项修正。

⑤ 锚固区保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80，保护层厚度为 $5d$ 时修正系数可取 0.7，中间按内插取值，此处 d 为纵向受力带肋钢筋的直径。

3) 锚固区横向构造钢筋

为防止锚固长度范围内的混凝土破碎，应配置横向构造钢筋加以约束，以维持其锚固能力。当锚固钢筋保护层厚度不大于 $5d$ 时，锚固长度范围内应配置横向构造钢筋，其直径不应小于 $d/4$；对于梁、柱一类的杆状构件间距不应大于 $5d$，对板、墙一类的平面构件间距不应大于 $10d$，d 为锚固钢筋的直径。

4) 纵向钢筋的机械锚固

当支座构件因截面尺寸限制而无法满足规定的锚固长度要求时，采用钢筋弯钩或机械锚固是减少锚固长度的有效方式，如图 6.7 所示。包括弯钩或锚固端头在内的锚固长度 (投影长度) 可取为基本锚固长度 l_{ab} 的 0.6 倍。钢筋弯钩或机械锚固的形式和技术要求应符合表 6-4 的规定。

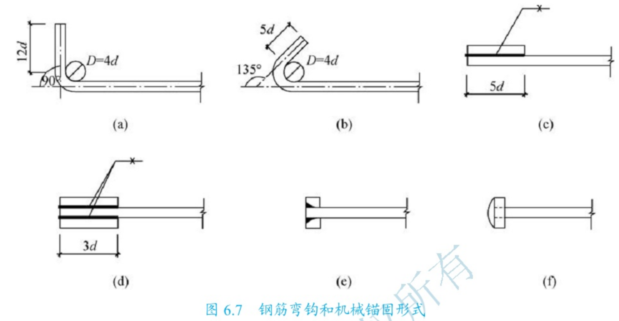


图 6.7　钢筋弯钩和机械锚固形式

(a)90° 弯钩；(b)135° 弯钩；(c) 一侧贴焊锚筋；

(d) 两侧贴焊锚筋；(e) 穿孔塞焊锚板；(f) 螺栓锚头

表 6-4　钢筋弯钩或机械锚固的形式和技术要求

锚固形式	技术要求
90° 弯钩	末端 90° 弯钩，弯后直段长度 12d
135° 弯钩	末端 135° 弯钩，弯后直段长度 5d
一侧贴焊锚筋	末端一侧贴焊长 5d 同直径钢筋，焊缝满足强度要求
两侧贴焊锚筋	末端两侧贴焊长 3d 同直径钢筋，焊缝满足强度要求
穿孔塞焊锚板	末端与厚度 d 的锚板穿孔塞焊，焊缝满足强度要求
螺栓锚头	末端旋入螺栓锚头，螺纹长度满足强度要求

5) 受压钢筋的锚固

混凝土结构中的纵向受压钢筋，当计算中充分利用钢筋的抗压强度时，受压钢筋的锚固长度不应小于相应受拉钢筋锚固长度的 0.7 倍。

6) 纵向钢筋在梁简支支座内的锚固

钢筋混凝土简支梁和连续梁简支端的下部纵向受力钢筋，其从支座边缘算起伸入梁支座内的锚固长度 l_{as}(图 6.8) 应符合下列规定。

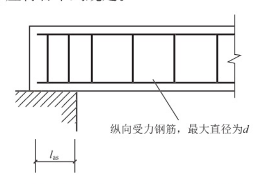


图 6.8　纵向受力钢筋伸入简支支座范围内的锚固

(1) 当 $V \leqslant 0.7f_tbh_0$ 时，$l_{as} \geqslant 5d$；当 $V>0.7f_tbh_0$ 时，带肋钢筋 $l_{as} \geqslant 12d$，光面钢筋 $l_{as} \geqslant 15d$。此处，d 为钢筋的最大直径。

(2) 如纵向受力钢筋伸入梁支座范围内的锚固长度不符合上述要求时，应采取前述纵向钢筋的机械锚固措施。

(3) 支承在砌体结构上的钢筋混凝土独立梁，在纵向受力钢筋的锚固长度 l_{as} 范围内应配置不少于两个箍筋 (图 6.8)，其直径不宜小于纵向受力钢筋最大直径的 0.25 倍，间距不宜大于纵向受力钢筋最小直径的 10 倍。

(4) 伸入梁支座范围内的纵向受力钢筋不应少于两根。

7) 板中受力钢筋的锚固

对于板，一般剪力较小，通常能满足 $V \leqslant 0.7f_tbh_0$ 的条件，故板的简支支座和中间支座下部纵向受力钢筋伸入支座的锚固长度均取 $l_{as} \geqslant 5d$。

8) 箍筋的锚固

通常箍筋采用封闭式 (图 6.9)，箍筋末端采用 135° 弯钩，弯钩端头直线段长度不小于 $5d$(d 为箍筋直径)[图 6.9(a)]。受扭所需的箍筋应做成封闭式，末端应做成 135° 弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于 $10d$ [图 6.9(b)]。

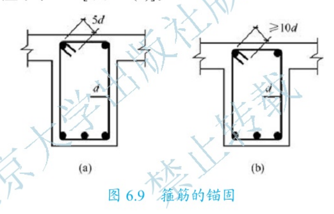


图 6.9　箍筋的锚固

应用案例6-1

某锻工车间屋面梁为 12m 跨度的 T 形薄腹梁。在车间建成后使用不久，梁端头突然断裂，造成厂房部分倒塌，如图 6.10 所示。倒塌构件包括屋面大梁及大型屋面板。

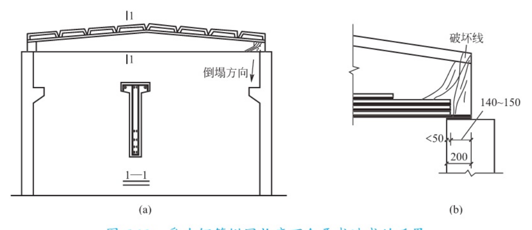


图 6.10　受力钢筋锚固长度不合要求造成的后果

【案例点评】

经现场调查分析，该屋面梁混凝土强度能满足设计要求，从梁端断裂处看，大梁支承端钢筋深入支座的锚固长度不够是导致事故发生的主因。该梁设计要求钢筋伸入支座锚固长度应为至少 150 mm，但实际上不足 50 mm；图纸标明钢筋端头至梁端为 40 mm，实际上却有 140 ~ 150 mm，如图 6.10(b) 所示。因此，梁端与柱的连接近于素混凝土节点，这是非常不可靠的。加之本车间为锻工车间，投产后锻锤的振动力很大，这在一定程度上增加了大梁的负荷，使梁柱连接处的构造做法更加恶化，最终导致大梁的断裂。

4. 钢筋的连接

实际施工中钢筋长度不够时常需要连接。钢筋的连接可分为三类：绑扎搭接、机械及焊接连接。钢筋连接的原则：接头宜设置在受力较小处，同一纵向受力钢筋不宜设置两个或两个以上接头，在结构的重要构件和关键传力部位，如柱端、梁端的箍筋加密区，纵向受力钢筋不宜设置连接接头。同一构件中相邻纵向受力钢筋的连接接头宜相互错开 (图 6.11)。

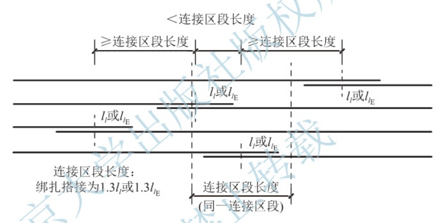


图 6.11　同一连接区段内纵向受拉钢筋绑扎搭接接头示意 (图示接头面积百分率为 50%)



特别提示

钢筋的连接区段长度，对绑扎连接为 1.3 倍搭接长度；对机械连接为 35d；对焊接连接为 35d 且不小于 500 mm。d 为纵向受力钢筋的较小直径。凡连接接头的中点位于该连接区段长度范围内，均属同一连接区段，如图 6.11 所示。

1) 绑扎搭接

纵向受拉钢筋的最小搭接长度 l_l 按下式计算：

$$l_l=\zeta_l l_a \tag{6-3}$$

式中，ζ_l——纵向受拉钢筋搭接长度修正系数，按表 6-5 采用。当纵向搭接钢筋接头面积百分率为表的中间值时，修正系数可按内插取值。

在任何情况下，纵向受拉钢筋的搭接长度不应小于 300 mm。采用绑扎搭接时，受拉钢筋直径不宜大于 25 mm，受压钢筋直径不宜大于 28 mm。

表 6-5　纵向受拉钢筋搭接长度修正系数

纵向钢筋搭接接头面积百分率 /%	≤ 25	50	100
ξ_l	1.2	1.4	1.6

纵向钢筋搭接接头面积百分率 (%) 的意义：需要接头的钢筋截面面积与全部纵向钢筋总截面面积之比。《混凝土结构设计规范》第 8.43 条规定，从任一绑扎接头中心至搭接长度的 1.3 倍区段范围内，受拉钢筋搭接接头面积百分率：对梁、板、墙类构件不宜大于 25%；对柱类构件不宜大于 50%。当工程中确有必要增大接头面积百分率时，对梁类构件，不宜大于 50%；对板、墙、柱等其他构件，可根据实际情况放宽。

纵向受压钢筋搭接时，其最小搭接长度应根据式 (6-2) 的规定确定后，再乘以系数 0.7 取用。在任何情况下，受压钢筋的搭接长度不应小于 200 mm。

绑扎搭接接头中钢筋的横向净距不应小于钢筋直径，且不应小于 25 mm。搭接长度的末端与钢筋弯折处的距离，不得小于钢筋直径的 10 倍。接头不宜位于构件最大弯矩处。在受拉区域内，光面钢筋绑扎接头的末端应做弯钩 [图 6.12(a)]，变形钢筋可不做弯钩 [图 6.12(b)]。

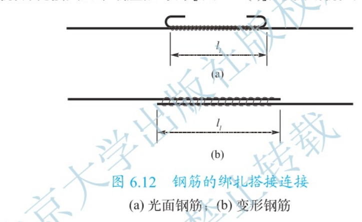


图 6.12　钢筋的绑扎搭接连接

(a) 光面钢筋；(b) 变形钢筋

在纵向受力钢筋搭接长度范围内，应配置符合下列规定的箍筋。

(1) 箍筋直径不应小于搭接钢筋较大直径的 0.25 倍。

(2) 搭接区段的箍筋间距不应大于搭接钢筋较小直径的 5 倍，且不应大于 100 mm (图 6.13)。

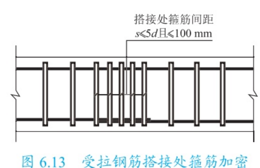


图 6.13　受拉钢筋搭接处箍筋加密

(3) 当受压钢筋 (如柱中纵向受力钢筋) 直径大于 25 mm 时，应在搭接接头两个端面外 100 mm 范围内各设置两个箍筋，其间距宜为 50 mm。

2) 机械连接

钢筋机械连接是通过连接件的机械咬合作用或钢筋端面的承压作用，将一根钢筋中的

力传递至另一根钢筋的连接方法(图 6.14)。机械连接施工简便、接头质量可靠、节约钢材。

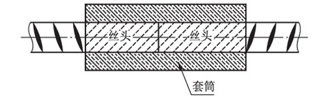




图 6.14　钢筋的机械连接(直螺纹连接)

纵向受力钢筋的机械连接接头宜相互错开。同一连接区段内,纵向受拉钢筋接头面积百分率不宜大于 50%;但对于板、墙、柱及预制构件的拼接处,可根据实际情况放宽。受压钢筋不受此限。机械连接套筒的混凝土保护层厚度宜满足钢筋最小保护层厚度的要求。套筒的横向净距不宜小于 25 mm;套筒处箍筋的间距仍应满足构造要求。



【电渣压力焊】

3) 焊接连接

利用热加工,熔融金属实现钢筋的连接。

采用焊接连接时,同一连接区段内,纵向受拉钢筋接头面积百分率不宜大于 50%,但对预制构件拼接处,可根据实际情况放宽。受压钢筋不受此限。

5. 抗震构造规定

1) 材料的选择

(1) 混凝土强度等级:一般结构构件,不应低于 C20;框支梁、框支柱及抗震等级为一级的框架梁、柱、节点核芯区,不应低于 C30。

(2) 钢筋:普通纵向受力钢筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB400 级的热轧钢筋,也可采用符合抗震性能指标的 HRB335 级热轧钢筋;箍筋宜选用符合抗震性能指标的不低于 HRB335 级的热轧钢筋,也可选用 HPB300 级热轧钢筋。

按一、二、三级抗震等级设计的各类框架中的纵向受力钢筋,其抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25;同时钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于 1.3,且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不宜小于 9%。这是为了保证结构破坏时有足够的延性。

(3) 在施工中,当需要以强度等级较高的钢筋替代原设计中的纵向受力钢筋时,应按照钢筋受拉承载力设计值相等的原则换算,并应满足最小配筋率要求。钢筋混凝土结构构件中纵向受力钢筋的配筋百分率见附录 D 的表 D9。

2) 纵向受拉钢筋的抗震锚固长度

对有抗震设防要求的混凝土结构构件,应根据结构不同的抗震等级增大其锚固长度。纵向受拉钢筋的抗震锚固长度 l_{aE} 应按式 (6-4) ~式 (6-6) 计算:

一、二级抗震等级

$$l_{aE}=1.15l_a \tag{6-4}$$

三级抗震等级

$$l_{aE}=1.05l_a \tag{6-5}$$

四级抗震等级

$$l_{aE}=l_a \tag{6-6}$$

特别提示

结构抗震等级的分类见后续模块。

3) 纵向受拉钢筋的抗震搭接长度

抗震搭接长度 l_{lE} 按式 (6-7) 计算：

$$l_{lE}=\zeta_l l_{aE} \tag{6-7}$$

在纵向受力钢筋抗震搭接长度范围内配置的箍筋，必须满足下列规定：箍筋直径不应小于搭接钢筋较大直径的 0.25 倍；间距不应大于搭接钢筋较小直径的 5 倍，且不应大于 100 mm。

4) 钢筋的连接要求

在抗震结构中，构件纵向受力钢筋的连接可采用绑扎搭接、机械连接或焊接。连接接头位置宜避开梁端、柱端箍筋加密区；无法避开时，应采用机械连接或焊接。位于同一连接区段内的纵向受力钢筋接头面积百分率不宜超过 50%。

5) 箍筋

箍筋宜采用焊接封闭箍筋、连续螺旋箍筋或连续复合螺旋箍筋。当采用非焊接封闭箍筋时，其末端应做成 135° 弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于箍筋直径的 10 倍，如图 6.15 所示，以保证箍筋对中心区混凝土的有效约束；在纵向钢筋搭接长度范围内的箍筋间距不应大于搭接钢筋较小直径的 5 倍，且不宜大于 100 mm。

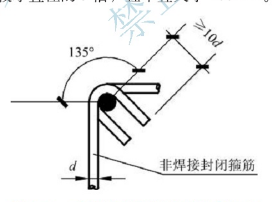


图 6.15　非焊接封闭箍筋的抗震构造

6.2.2 梁的构造规定

1. 梁的截面

常见的梁的截面形式有矩形、T 形、I 形，还有叠合梁，如图 6.16 所示。

梁截面高度 h 一般按高跨比 h/l 估算，如简支梁的高度 $h=(1/12 \sim 1/8)l$；悬臂梁的高度 $h=l/6$；多跨连续梁的高度 $h=(1/18 \sim 1/12)l$。

梁截面宽度常用截面高宽比 h/b 确定。对于矩形截面一般 h/b=2 ～ 3.5；对于 T 形截面一般 h/b=2.5 ～ 4.0。

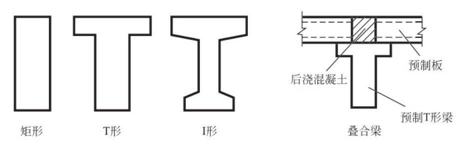


图 6.16　梁的截面形式

为了统一模板尺寸和便于施工，通常采用梁宽度 b=150 mm、180 mm、200 mm、…，b>200 mm 时采用 50 mm 的倍数；梁高度 h=250 mm、300 mm、…，$h \leqslant$ 800 mm 时采用 50 mm 的倍数，h>800 mm 时采用 100 mm 的倍数。

2. 梁的配筋

梁中的钢筋有纵向受力钢筋、弯起钢筋、箍筋和架立筋等，如图 6.17 所示。

1) 纵向受力钢筋

纵向受力钢筋主要承受弯矩产生的拉力，如图 6.17 中的⑤号钢筋。常用直径为 12 ～ 25 mm。梁的上部纵向钢筋水平方向的净间距不应小于 30 mm 和 1.5d，下部纵向钢筋的水平净间距不应小于 25 mm 和 d。当梁的下部纵向钢筋配置多于两层时，两层以上钢筋水平方向的中距应比下面两层的中距增大一倍；各层钢筋之间的净间距应不小于 25 mm 和 d，d 为纵向钢筋的最大直径，如图 6.18 所示。

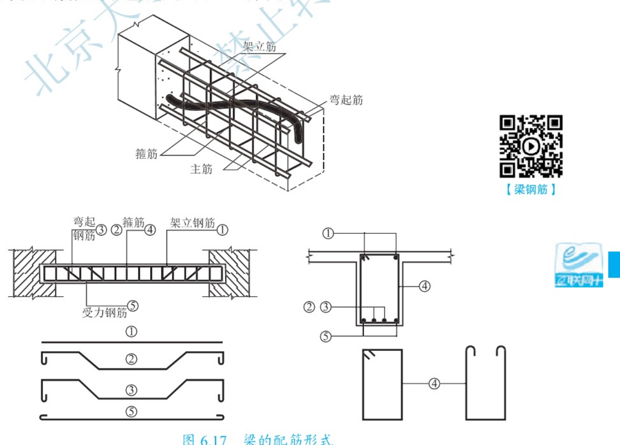


图 6.17　梁的配筋形式

图 6.18 中，h_0 为梁的有效高度，是受拉钢筋的合力作用点到截面受压混凝土边缘的距离：$h_0=h-a_s$，a_s 为受拉钢筋的合力作用点至截面受拉区边缘的距离。

为便于计算 h_0，通常的做法是根据混凝土保护层最小厚度及上述梁中纵向受力钢筋排列的构造规定，当假设梁中纵向受力钢筋的直径为 20 mm，箍筋直径为 10 mm 时，在一类环境情况下，h_0 可按表 6-6 的数值取用。

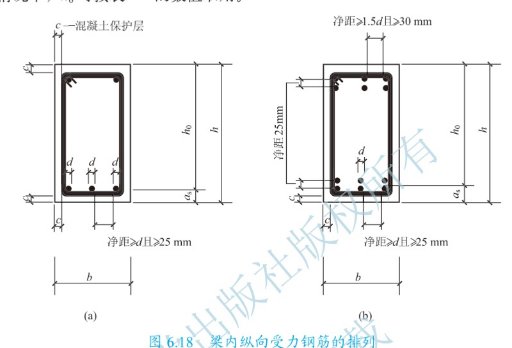


图 6.18 梁内纵向受力钢筋的排列

(a) 钢筋放一排时；(b) 钢筋放两排时

表 6-6 一类环境下梁、板的 h_0 值表　　单位：mm

构件类型		混凝土强度等级	
		≤ C25	C30 级及以上
板		$h_0=h-25$	$h_0=h-20$
梁	一排钢筋	$h_0=h-45$	$h_0=h-40$
	两排钢筋	$h_0=h-70$	$h_0=h-65$

为满足钢筋排布的构造规定，方便施工，可采用同类型、同直径两根或三根钢筋并在一起配置，形成并筋 [图 6.19(b)、(c)]。直径 28 mm 及以下的钢筋并筋数量不宜超过 3 根；直径为 32 mm 的钢筋宜为 2 根；直径 36 mm 及以上的钢筋不应采用并筋。

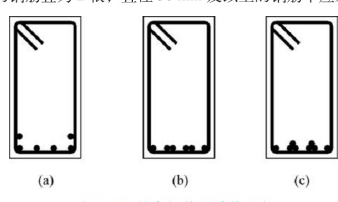


图 6.19 梁中钢筋的并筋形式

(a) 双排布筋；(b) 2 根并筋；(c) 3 根并筋

2) 弯起钢筋

弯起钢筋由纵向钢筋在支座附近弯起形成，如图 6.17 中的②、③号钢筋。

弯起钢筋的弯起角度：当梁高 $h \leqslant 800$ mm 时，采用 45°；当梁高 $h>800$ mm 时，采用 60°。位于梁底层的角部钢筋不应弯起，顶层钢筋中的角部钢筋不应下弯。

弯起钢筋的末端应留有直线段，其长度在受拉区不应小于 $20d$，在受压区不应小于 $10d$，d 为弯起钢筋直径。对于光面钢筋，在其末端还应设置弯钩，如图 6.20 所示。

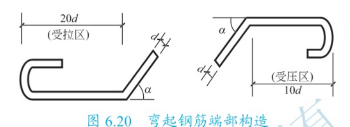


图 6.20 弯起钢筋端部构造

弯起钢筋可单独设置在支座两侧，作为受剪钢筋，这种弯起钢筋称为“鸭筋”，如图 6.21(a) 所示，但锚固不可靠的“浮筋”不允许设置，如图 6.21(b) 所示。

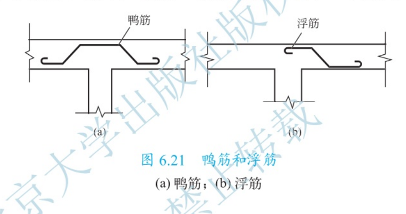


图 6.21 鸭筋和浮筋

(a) 鸭筋；(b) 浮筋

3) 箍筋

箍筋主要用来承担剪力，在构造上能固定受力钢筋的位置和间距，并与其他钢筋形成钢筋骨架，如图 6.17 中的④号钢筋。梁中的箍筋应按计算确定，除此之外，还应满足以下构造要求。

(1) 构造箍筋。若按计算不需要配箍筋时，当截面高度 $h>300$ mm 时，应沿梁全长设置箍筋；当 $h=150 \sim 300$ mm 时，可仅在构件端部各四分之一跨度范围内设置箍筋；但当在构件中部二分之一跨度范围内有集中荷载作用时，则应沿梁全长设置箍筋；当 $h<150$ mm 时，可不设箍筋。

(2) 箍筋直径。箍筋的最小直径不应小于表 6-7 的规定。

(3) 箍筋间距。梁的箍筋从支座边缘 50 mm 处 (图 6.22) 开始设置。梁中箍筋间距 S 除应符合计算要求外，最大间距 S_{max} 宜符合表 6-8 的规定。

表 6-7 箍筋的最小直径

梁高 h/mm	最小直径 /mm
$h \leqslant 800$	6
$h>800$	8
配有受压钢筋的梁	$\geqslant d/4$(d 为受压钢筋中的最大直径)

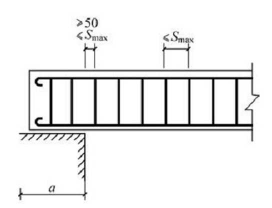


图 6.22　箍筋的间距及简支梁支承长度

表 6-8　梁中箍筋的最大间距 S_{max}　　单位：mm

梁高 h	$V>0.7f_tbh_0$	$V\leqslant 0.7f_tbh_0$
$150<h\leqslant 300$	150	200
$300<h\leqslant 500$	200	300
$500<h\leqslant 800$	250	350
$h>800$	300	400

当梁中配有按计算需要的纵向受压钢筋时，箍筋的间距不应大于 15d(d 为纵向受压钢筋的最小直径)，同时不应大于 400 mm；当一层内的纵向受压钢筋多于 5 根且直径大于 18 mm 时，箍筋的间距不应大于 10d；当梁的宽度大于 400 mm 且一层内的纵向受压钢筋多于 3 根时，或当梁的宽度不大于 400 mm 但一层内的纵向受压钢筋多于 4 根时，应设置复合箍筋。

(4) 箍筋形式。箍筋的形式有开口和封闭两种 [图 6.23(a)、(b)]。开口式只用于无振动荷载或开口处无受力钢筋的现浇 T 形梁的跨中部分。除上述情况外，箍筋应做成封闭式。

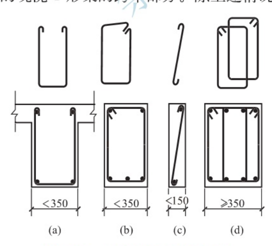


图 6.23　箍筋的形式和肢数

(a) 开口式双肢箍；(b) 封闭式双肢箍；(c) 单肢箍；(d) 四肢箍

(5) 箍筋肢数。一个箍筋垂直部分的根数称为肢数。常用的有双肢箍 [图 6.23(a)、(b)]、四肢箍 [图 6.23(d)] 和单肢箍 [图 6.23(c)] 等几种形式。当梁宽小于 350 mm 时，通常用双肢箍；梁宽大于或等于 350 mm 或纵向受拉钢筋在一排的根数多于 5 根时，应采用

四肢箍；当梁配有受压钢筋时，应使受压钢筋至少每隔一根处于箍筋的转角处；只有当梁宽小于 150 mm 或作为腰筋的拉结筋时，才允许使用单肢箍。

4) 架立钢筋

为了将受力钢筋和箍筋联结成整体骨架，在施工中保持正确的位置，一般应设置架立钢筋，如图 6.17 中的①号钢筋。

架立钢筋的直径：当梁的跨度小于 4 m 时，不宜小于 8 mm；当跨度等于 4 ~ 6 m 时，不宜小于 10 mm；当跨度大于 6 m 时，不宜小于 12 mm。

架立钢筋与受力钢筋的搭接长度：当架立钢筋直径 $d \geqslant 12$ mm 时，为 150 mm；当 $d<12$ mm 时，为 100 mm；当考虑架立筋受力时，则为 l_l。

5) 梁支座上部纵向构造钢筋

如果简支梁支座端上面有砖墙压顶，阻止了梁端自由转动，或者梁端与另一梁或柱整体现浇，而未按固定端支座计算内力时，梁端将产生一定的负弯矩，这时需要设置梁端支座上部构造钢筋 (图 6.24)。

构造钢筋不应少于 2 根，其截面面积不少于跨中下部纵向受力钢筋面积的 1/4；由支座伸向跨内的长度不应小于 $0.2l_n$，l_n 为梁净跨；构造钢筋伸入支座的锚固长度为 l_a，当直段长度小于 l_a 时可弯折，伸至主梁外侧、纵筋内侧后弯折，水平段长度不小于 $0.35l_{ab}$，竖直段长度取 $15d$。


特别提示

构造钢筋在端支座处，当充分利用钢筋抗拉强度时，伸向跨内的长度不应小于 $l_n/3$，l_n 为梁净跨；伸入支座弯锚时，水平段长度不小于 $0.6l_{ab}$，竖直段长度取 $15d$。

构造钢筋可以利用架立钢筋 [图 6.24(a)]，这时架立筋不宜少于 2ϕ12；也可以采用另加钢筋 [图 6.24(b)]。

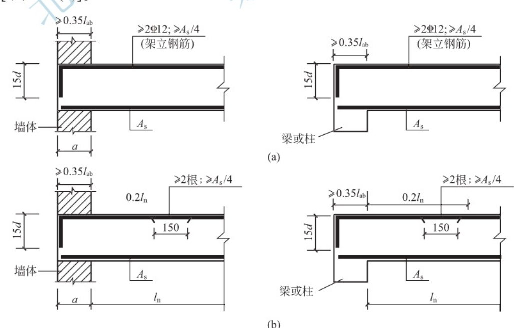


图 6.24 梁端构造钢筋

(a) 架立钢筋代构造负筋；(b) 单独设置构造负筋

6) 梁侧纵向构造钢筋及拉筋

当梁的腹板高度 $h_w \geq 450$ mm 时，应在梁的两个侧面沿高度配置纵向构造钢筋。纵向构造钢筋间距 $a \leq 200$ mm，并用拉筋联系，建议拉筋紧靠纵筋并勾住箍筋，如图 6.25 所示。拉筋直径按梁宽选择，当梁宽≤ 350 mm 时，直径为 6 mm，当梁宽 >350 mm 时，直径为 8 mm。拉筋间距为非加密区箍筋间距的 2 倍，当设有多排拉筋时，上下两排拉筋竖向错开布置。

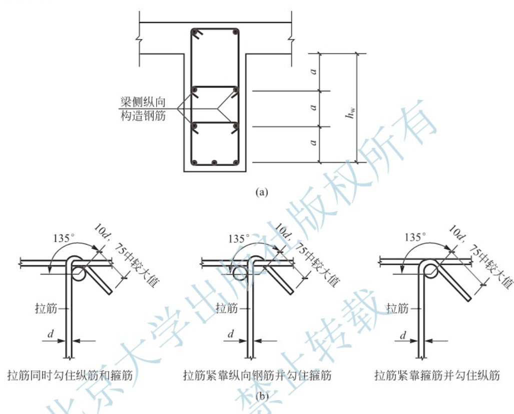


图 6.25　梁侧纵向构造钢筋和拉筋

特别提示

(1) 梁的腹板高度 h_w 的计算公式：

矩形截面取梁的有效高度 $h_w=h_0$；

T 形截面取有效高度减去翼缘高度 $h_w=h_0-h'_f$；

I 形截面取腹板净高 $h_w=h-h_f-h'_f$。

(2) 拉筋处理方式可参考 16G101—1。

应用案例6-2

一些高度较大的钢筋混凝土梁由于梁侧纵向构造钢筋（俗称腰筋）配置过稀，在使用期间甚至在使用以前往往在梁的腹部发生竖向等间距裂缝。这种裂缝多发生在构件中部，呈中间宽，两头细，至梁的上下缘附近逐渐消失，如图 6.26 所示。

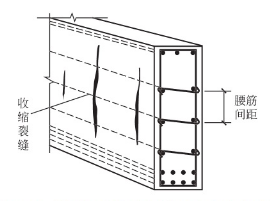


图 6.26　梁侧纵向构造钢筋不足产生的后果

【案例点评】

这种裂缝是由于混凝土收缩所致。两端固定在混凝土柱上的大梁，在凝结过程中因体积收缩而使梁在沿长度方向受拉。因梁的上下缘配有较多纵向受力钢筋，该拉力由纵向受力钢筋承受，混凝土开裂得很细，肉眼难以观察到；而大梁的中腹部，当腰筋配置过少、过稀时，不足以帮助混凝土承受这部分拉力，就会产生沿梁长均匀分布的竖向裂缝。

7) 附加横向钢筋

附加横向钢筋设置在梁中有集中力 (次梁) 作用的位置两侧 (图 6.27)，数量由计算确定。附加横向钢筋包括附加箍筋和吊筋，宜优先选用箍筋，也可采用吊筋加箍筋。

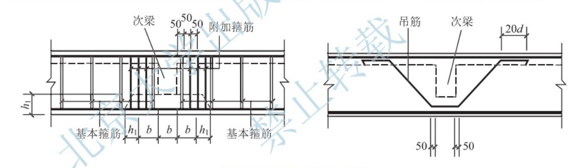


图 6.27　附加横向钢筋

3. 梁的支承长度

梁支承在砖砌体上的长度 a(图 6.22) 一般采用：当梁高 $h \leqslant 500$ mm 时，$a \geqslant 180$ mm；当梁高 $h>500$ mm 时，$a \geqslant 240$ mm。

6.2.3　板的构造规定

1. 一般规定

钢筋混凝土板的常用截面有矩形、槽形和空心等形式，如图 6.28 所示。板的厚度 h 一般宜满足跨厚比 l/h 要求，钢筋混凝土单向板 $l/h \leqslant 30$；双向板 $l/h \leqslant 40$。当板的荷载、跨度较大时，跨厚比宜适当减少。

现浇钢筋混凝土板的厚度不应小于附录 D 中表 D7 规定的数值。

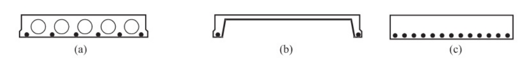


图 6.28　钢筋混凝土板截面形式

(a) 空心板；(b) 槽形板；(c) 矩形板

2. 板的受力钢筋

板中受力钢筋指承受弯矩作用下产生的拉力的钢筋，沿板跨度方向放置，如图 6.29 所示。

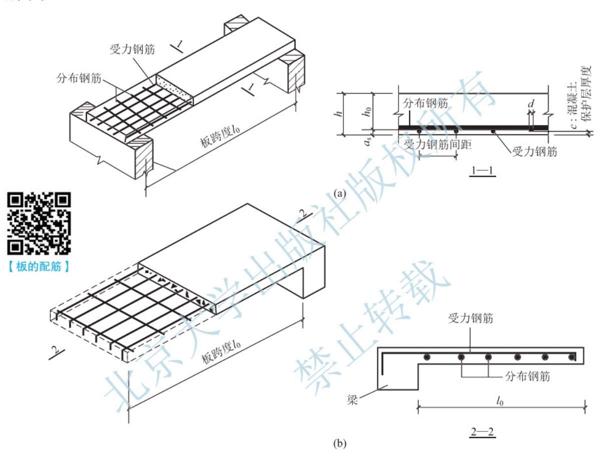


图 6.29　板配筋图

(a) 简支板；(b) 悬壁板

特别提示

悬臂板由于受负弯矩作用，截面上部纤维受拉。受力钢筋应放置在板受拉一侧，即板上部，施工中尤应注意，以免放反，造成事故。

(1) 直径。板中受力钢筋直径通常采用 6 mm、8 mm、10 mm 和 12 mm。

(2) 间距。为了使板受力均匀和混凝土浇筑密实，板中受力钢筋的间距不应小于 70 mm；当板厚 $h \leqslant 150$ mm 时，不宜大于 200 mm；当板厚 $h>150$ mm 时，不宜大于 $1.5h$，且不宜大于 250 mm。

(3) 锚固长度。简支板或连续板下部纵向受力钢筋伸入支座的锚固长度不应小于 $5d$，且宜伸至支座中心线。当连续板内温度、收缩应力较大时，伸入支座的长度宜适当增加。

3. 板的分布钢筋

分布钢筋的作用是更好地分散板面荷载到受力钢筋上，固定受力钢筋的位置。分布钢筋应放置在板受力钢筋的内侧，如图 6.29 所示。

分布钢筋的数量：板的单位长度上分布钢筋的截面面积不宜小于板的单位宽度上受力钢筋截面面积的 15%，且不宜小于该方向板截面面积的 0.15%。同时，分布钢筋的间距不宜大于 250 mm，直径不宜小于 6 mm。

4. 板支座上部附加构造钢筋

(1) 嵌固在承重砌体墙内的现浇板，由于砖墙的约束作用，使沿墙周边的板面上方产生裂缝。因此，在板边上部应配置垂直于板边的附加构造钢筋 (图 6.30)，其直径不宜小于 8 mm，间距不宜大于 200 mm，且单位宽度内的配筋面积不宜小于跨中相应方向板底钢筋截面面积的 1/3，构造钢筋伸入板内的长度为 $l_0/7$。

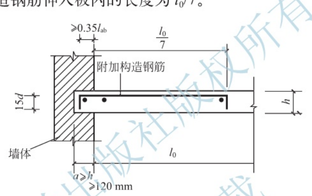


图 6.30 嵌固在砌体墙内的板上部构造钢筋

(2) 与混凝土梁、墙整体浇筑但按非受力边设计的现浇板，板边上部应配置垂直于板边的附加构造钢筋 (图 6.31)，其直径不宜小于 8 mm，间距不宜大于 200 mm，且单位宽度内的配筋面积不宜小于受力方向板底钢筋截面面积的 1/3，并按受拉钢筋锚固在梁内、柱内、墙内，构造钢筋伸入板内的长度为 $l_0/4$。

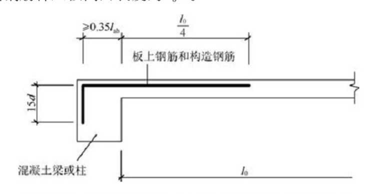


图 6.31 与混凝土梁、柱整浇的板上部构造钢筋

(3) 在柱角或墙阳角处的楼板凹角部位，钢筋伸入板内的长度应从柱边或墙边算起。

5. 板的支承长度

现浇板搁置在砖墙上时，其支承长度 a 一般不小于板厚度 h，且不小于 120 mm (图 6.30)。



6.3　预应力混凝土构件

6.3.1　预应力混凝土的基本概念

关于预应力的基本概念人们早已应用于生活实践中了。如木桶在制作过程中，预先用竹箍把木板箍紧，目的是使木板间产生环向预压力，装水或装汤后，由水产生环向拉力，在拉应力小于预压应力时，水桶就不会漏水，如图 6.32(a) 所示。又如从书架上取下一叠书时，由于受到双手施加的压力，这一叠书如同一根横梁，可以承担全部书的重量，如图 6.32(b) 所示。

为了避免钢筋混凝土结构的裂缝过早出现，充分利用高强度钢筋及高强度混凝土，可以设法在结构构件承受外荷载作用之前，预先对受拉区混凝土施加压力，以此产生的预压应力来减小或抵消外荷载引起的混凝土拉应力，这种在混凝土构件受荷载以前预先对构件使用时的混凝土受拉区施加压应力的结构称为预应力混凝土结构。

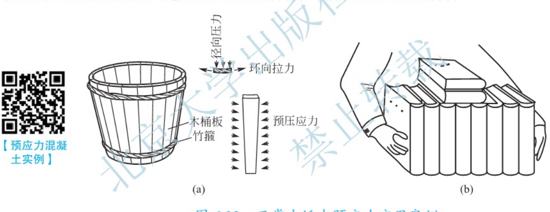


图 6.32　日常生活中预应力应用案例

6.3.2　施加预应力的方法

根据张拉钢筋与浇筑混凝土的先后关系，施加预应力的方法可分为先张法和后张法两类。

1. 先张法

先张拉预应力钢筋，然后浇筑混凝土的施工方法，称为先张法。先张法的张拉台座设备，如图 6.33 所示。

先张法的优点主要是，生产工艺简单，工序少，效率高，质量易于保证，同时由于省去了锚具和减少了预埋件，构件成本较低。先张法主要适用于工厂化大量生产，尤其适宜用于长线法生产中、小型构件。

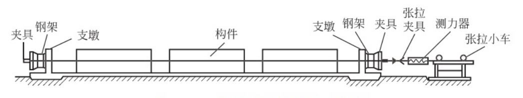
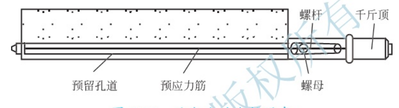


图 6.33　先张法的张拉台座设备

2. 后张法

先浇筑混凝土，待混凝土硬化后，在构件上直接张拉预应力钢筋，这种施工方法称为后张法。后张法的张拉台座设备，如图 6.34 所示。

后张法的主要缺点是生产周期较长；需要利用工作锚锚固钢筋，钢材消耗较多，成本较高；工序多，操作较复杂，造价一般高于先张法。




【先张法与后张法】

图 6.34　后张法的张拉设备

6.3.3 预应力混凝土的特点

与普通钢筋混凝土相比，预应力混凝土具有以下特点。

(1) 构件的抗裂性能较好。

(2) 构件的刚度较大。由于预应力混凝土能延迟裂缝的出现和开展，并且受弯构件要产生反拱，因而可以减小受弯构件在荷载作用下的挠度。

(3) 构件的耐久性较好。由于预应力混凝土能使构件在使用过程中不出现裂缝或减小裂缝宽度，因而可以减少大气或侵蚀性介质对钢筋的侵蚀，从而延长构件的使用期限。

(4) 由于预应力结构必须采用高强度材料，因此可以减小构件截面尺寸，节省材料，减轻自重，既达到经济的目的，又扩大了钢筋混凝土结构的使用范围。例如可以用于大跨度结构，代替某些钢结构。

(5) 工序较多，施工较复杂，且需要张拉设备和锚具等设施。

由于预应力混凝土具有以上特点，因而在工程结构中得到了广泛的应用。在工业与民用建筑中，屋面板、楼板、檩条、吊车梁、柱、墙板、基础等构配件，都可采用预应力混凝土。



特别提示

预应力混凝土不能提高构件的承载能力。也就是说，当截面和材料相同时，预应力混凝土与普通钢筋混凝土受弯构件的承载能力相同，与受拉区钢筋是否施加预应力无关。

6.3.4 预应力混凝土材料

1. 钢筋

1) 性能要求

(1) 强度高。预应力混凝土从制作到使用的各个阶段预应力钢筋一直处于高强受拉应力状态，因此需要采用较高的张拉应力，这就要求预应力钢筋具有较高的抗拉强度。

(2) 较好的塑性、可焊性。高强度的钢筋塑性性能一般较低，为了保证结构在破坏之前有较大的变形，必须有足够的塑性性能。

(3) 良好的黏结性。由于先张法是通过黏结力传递预压应力，所以纵向受力钢筋宜选用直径较细的钢筋，高强度的钢丝表面要进行“刻痕”或“压波”处理。

(4) 低松弛。预应力钢筋在长度不变的前提下，其应力随着时间的延长在慢慢降低，所以应选用松弛小的钢筋，以降低应力松弛带来的不利影响。

2) 预应力钢筋的种类

(1) 预应力混凝土所用钢丝分为冷拉钢丝和消除应力钢丝两种。消除应力钢丝包括光面 (Φ^{P}) 钢丝和螺旋肋 (Φ^{H}) 钢丝。

(2) 钢绞线是以一根直径较粗的钢丝作为钢绞线的芯，并用边丝围绕其进行螺旋状绞捻而成，用符号 Φ^{S} 表示。其在后张法预应力混凝土中采用较多。其优点是强度高、低松弛，黏结性好。

(3) 预应力螺纹钢筋也称精轧螺纹钢筋，是由热轧、轧后余热处理或热处理等工艺生产的用于预应力混凝土的螺纹钢筋，用符号 Φ^{T} 表示。它具有连接、锚固简便，黏结力强等优点。

2. 混凝土

预应力混凝土结构构件所用的混凝土，需满足下列要求。

(1) 高强度。预应力混凝土必须采用高强度的混凝土，采用高强度的混凝土可以有效减少构件截面尺寸，减轻构件自重。

(2) 收缩小、徐变小。由于混凝土收缩徐变的结果，使得混凝土得到的有效预压力减少，即预应力损失，所以在结构设计中应采取措施减少混凝土收缩徐变。

(3) 快硬、早强。可及早施加预应力，提高张拉设备的周转率，加快施工速度。

模块小结

本模块对钢筋混凝土梁、板构件的设计过程进行了简单阐述，详述了包括混凝土结构所使用材料的力学性能、分类，简支梁、简支板的设计计算以及混凝土构件的基本构造要求，还述及预应力构件的概念及其有关构造要求。对于混凝土结构梁、板的构造要求，应在理解的基础上学会应用。学习时可结合《混凝土结构设计规范》的相关条文。

针对普通钢筋混凝土容易开裂的缺点，设法在混凝土结构或构件承受使用荷载前，预先对受拉区的混凝土施加压力后的混凝土就是预应力混凝土。预应力能够提高构件的抗裂性能和刚度。施加预应力的方法有先张法和后张法。

习　题

1. 填空题

(1) 混凝土结构中保护层厚度是指 ____。

(2) 修正后的钢筋锚固长度，除不应小于按计算确定的长度的 0.7 倍外，还不应小于 ________mm。

(3) 在任何情况下，纵向受拉钢筋绑扎搭接接头的搭接长度均不应小于 ________mm。

(4) 板中分布钢筋应位于受力筋的 ____________，且应与受力筋 ____________。

(5) 钢筋和混凝土能够共同工作的主要原因是 ____________________________。

(6) 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 ____________，预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 ____________。

(7) 当梁的腹板高度不小于 ____________mm 时，在梁的两侧应设置纵向构造钢筋和相应的拉筋。

(8) 我国混凝土规范提倡用 ____________ 级钢筋作钢筋混凝土结构的主力钢筋。

(9) 预应力混凝土构件按施工方法可分为 ____________ 和 ____________。

(10) 预应力混凝土中钢筋宜采用 ____________。

2. 选择题

(1) 在混凝土各强度指标中，其设计值大小关系为 (　　)。

A. $f_t>f_c>f_{cu}$　　B. $f_{cu}>f_c>f_t$

C. $f_{cu}>f_t>f_c$　　D. $f_c>f_{cu}>f_t$

(2) 钢材的伸长率 δ 用来反映材料的 (　　)。

A. 承载能力　　B. 弹性变形能力

C. 塑性变形能力　　D. 抗冲击荷载能力

(3) 以下关于混凝土徐变的论述正确的是 (　　)。

A. 水灰比越大徐变越小　　B. 水泥用量越多徐变越小

C. 骨料用量越多徐变越小　　D. 养护环境湿度越大徐变越大

(4) 梁中下部纵向受力钢筋的净距不应小于 (　　)。

A. 25 mm 和 1.5d　　B. 30 mm 和 2d

C. 30 mm 和 1.5d　　D. 25 mm 和 d

(5) 以下不属于减少混凝土收缩措施的项目是 (　　)。

A. 控制水泥用量　　B. 提高混凝土强度等级

C. 提高混凝土的密实性　　D. 减小水灰比

(6) 对构件施加预应力的主要目的是 (　　)。

A．提高构件承载力

B．在构件使用阶段减少或避免裂缝出现，发挥高强度材料作用

C．对构件进行性能检验

D．提高构件延性

3. 判断题

(1) 先张法是在浇筑混凝土之前张拉预应力钢筋。 ( )

(2) 板中受力钢筋沿板跨度方向布置，且放置在构件下部。 ( )

(3) 架立钢筋的主要作用是承担支座产生的负弯矩。 ( )

(4) 对于某一构件而言，混凝土强度等级越高，构件的混凝土最小保护层越厚。( )

(5) 钢筋混凝土结构混凝土的强度等级不应低于 C15。 ( )

(6) 与混凝土不同，钢筋的抗拉与抗压强度设计值总是相等的。 ( )

(7) 材料的强度设计值小于材料的强度标准值。 ( )

(8) 立方体抗压强度标准值的保证率为 95%。 ( )

(9) 测定混凝土立方体抗压强度时，采用的是以标准方法制作的尺寸为 150 mm × 150 mm × 300 mm 试块。 ( )





钢筋混凝土柱和框架结构

教学目标

通过学习，掌握钢筋混凝土柱的构造要求；掌握钢筋混凝土框架的抗震构造。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
在实际工程中理解和运用受压构件构造知识	钢筋混凝土柱的承载力计算及构造要求	40%
理解钢筋混凝土梁柱连接设计基本知识，掌握钢筋混凝土框架结构节点构造	钢筋混凝土框架梁构造要求；钢筋混凝土框架柱构造要求；框架节点构造	60%

学习重点

现浇框架结构抗震构造。



引例

1. 工程与事故概况

某公司职工宿舍楼，该工程为四层三跨框架建筑物，长 60 m，宽 27.5 m，高 16.5 m(底层高 4.5 m，其余各层 4.0 m)，建筑面积 6600 m^2(图 7.1)。始建于 1993 年 10 月，按一层作为食堂使用考虑建造，使用 8 个月后又于 1995 年 6—11 月在原一层食堂上加建三层宿舍。两次建设均严重违反建设程序，无报建、无招投标、无证设计、无勘察、无证施工、无质监。此楼投入使用后，1996 年雨季后，西排柱下沉 130 mm，西北墙也下沉，墙体开裂，窗户变形。1997 年 3 月 8 日，底层地面出现裂缝，且多在柱子周围。建设单位请包工头看后认为没有问题，未做任何处理。3 月 25 日裂缝急剧发展，当日下午 4 时再次请包工头看，仍未做处理。当晚 7 时 30 分该楼整体倒塌，110 人被砸，死亡 31 人。

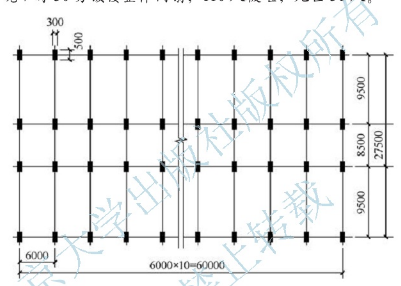


图 7.1　某宿舍楼柱网平面

倒塌现场的情况如下。

(1) 主梁全部断裂为两三段，次梁有的已经碎裂；从残迹看，构件尺寸、钢筋搭接长度均不符合《混凝土结构设计规范》的规定。

(2) 柱子多数断裂成两三截，有的粉碎，箍筋、拉结筋也均不符合《混凝土结构设计规范》的规定。

(3) 柱底单独基础发生锥形冲切破坏，柱的底端冲破底板伸入地基土层内有 400 mm 之多。

(4) 梁、柱筋的锚固长度严重不足，梁的主筋伸入柱内只有 70 ～ 80 mm。

2. 事故原因分析

(1) 实际基础底面土压力为天然地基承载力设计值的 2.3 ～ 3.6 倍，造成土体剪切破坏。柱基沉降差大大超过地基变形的允许值，因而在倒塌前已造成建筑物严重倾斜、柱列沉降量过大、沉降速率过快、墙体构件开裂、地面柱子周围出现裂缝等现象。在此情况下单独柱基受力状态变得十分复杂，一部分柱基受力必然加大，而基础底板厚度又过小，造成柱下基础底板锥型冲切破坏，柱子沉入地基土层 400 mm 之多。这是一般框架结构事故中罕

见的现象。

(2) 上部结构配筋过少。底层中柱纵、横向实际配筋只达到估算需要量的21.9%和13.1%；底层边柱只达到估算需要量的32.3%和20.4%；一、二、三层梁的边支座和中间支座处实际配筋也只有估算需要量的20.8%和58.9%。

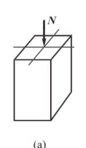
(3) 上部结构的构造做法不符合《混凝土结构设计规范》的要求，如梁伸入柱的主筋的锚固长度太短，柱的箍筋设置过少等。

(4) 施工质量低劣。柱基础混凝土取芯两处，分别只有7.4 MPa和12.2 MPa；在倒塌现场，带灰黄色的低强度等级的混凝土遍地可见；采用大量改制钢材，多数钢筋力学性能不符合《混凝土结构工程施工规范》的要求；钢筋的绑扎也不符合《混凝土结构工程施工规范》的要求。

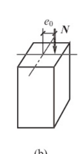
(5) 管理失控。本工程施工两年，除了几张做单层工程时的草图外没有任何技术资料；原材料水泥、钢筋没有合格证，也无试验报告单；混凝土不做试配，未留试块。技术上处于没有管理、随心所欲的完全失控状态。后期出现种种质量事故的征兆，不加处理，则更进一步加速建筑物的整体倒塌。

7.1 钢筋混凝土柱基本知识

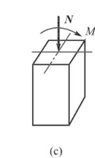
钢筋混凝土受压构件按纵向力与构件截面形心相互位置的不同，可分为轴心受压构件与偏心受压构件（单向偏心受压和双向偏心受压构件），如图7.2所示。偏心受压构件又可分为大偏心受压构件和小偏心受压构件。当纵向外力N的作用线与构件截面形心轴线重合时为轴心受压构件，当纵向外力N的作用线与构件截面形心轴线不重合时为偏心受压构件。



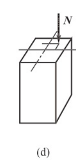
(a)



(b)



(c)



(d)


【钢筋混凝土柱】

图7.2 轴心受压和偏心受压

(a) 轴心受压；(b)、(c) 单向偏心受压；(c) 双向偏心受压


特别提示

一般在竖向荷载下，中间轴线上的框架柱按轴心受压考虑，边柱按单向偏心受压考虑，角柱按双向偏心受压考虑。

7.1.1 轴心受压构件

钢筋混凝土轴心受压柱的正截面承载力由混凝土承载力和钢筋承载力两部分组成，其计算步骤如下。

1) 稳定系数 φ

由于实际工作中初始偏心距的存在，且多为细长的受压构件，破坏前将发生纵向弯曲，所以需要考虑纵向弯曲对构件截面承载力的影响。在轴心受压柱承载力的计算中，采用了稳定系数 φ 来表示承载力的降低程度，见表 7-1。构件的计算长度 l_0 与构件两端支承情况有关，一般多层房屋中梁柱为刚接的框架结构，各层柱的计算长度 l_0 可按表 7-2 确定。

表 7-1　钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数

l_0/b	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
l_0/d	≤ 7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24
l_0/i	≤ 28	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97
φ	1.0	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56

l_0/b	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
l_0/d	26	28	29.5	31	33	34.5	36.5	38	40	41.5	43
l_0/i	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	174
φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

注：表中 l_0 为构件计算长度，b 为矩形截面的短边尺寸，d 为圆形截面的直径，i 为截面最小回转半径。

特别提示

(1) 当应用表 7-1 查 φ 值时，如 l_0/b 为表格中没有列出的数值，可利用插入法来确定 φ 值。

(2) 当 $l_0/b \leqslant 8$ 时，$\varphi=1$。

表 7-2　框架结构各层柱的计算长度

楼盖类型	柱的类别	l_0
现浇楼盖	底层柱	$1.0H$
	其余各层柱	$1.25H$
装配式楼盖	底层柱	$1.25H$
	其余各层柱	$1.5H$

特别提示

对底层柱，H 为基础顶面到一层楼盖顶面之间的高度；对其余各层柱，H 为上、下两层楼盖顶面之间的高度。

2) 求纵向钢筋截面面积 A'_s

$$N \leqslant 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s) \tag{7-1}$$

式中，N——轴向力设计值；

φ——钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数，按表 7-1 采用；

f_c——混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²)；

f'_y——纵向钢筋的抗压强度设计值 (N/mm²)；

A——构件截面面积 (mm²)；

A'_s——全部纵向钢筋的截面面积，当纵向钢筋配筋率大于 3% 时，式中 A 应改用 $A-A'_s$ 代替。



特别提示

当柱中全部纵向受力钢筋的配筋率大于 3% 时，箍筋直径不应小于 8 mm；间距不应大于纵向受力钢筋最小直径的 10 倍，且不应大于 200 mm。箍筋末端应做成 135° 弯钩，且弯钩末端平直段长度不应小于箍筋直径的 10 倍。

应用案例7-1

实例二中柱子 KZ3 按轴心受压构件计算，底层柱高 H=4.6 m，柱截面面积 $b \times h$=500mm × 500 mm，承受轴向压力设计值 N=1416 kN，采用 C30 级混凝土 (f_c=14.3 N/mm²)，HRB400 级钢筋 (f'_y=360 N/mm²)，求纵向钢筋面积，并配置纵向钢筋和箍筋。

解：(1) 求稳定系数。

柱计算长度：l_0=1.0H=1.0 × 4.6 m=4.6 m

$$\frac{l_0}{b} = \frac{4600}{500} = 9.2，查表 7-1，得 \varphi=0.988$$

(2) 计算纵向钢筋面积 A'_s。

因为 N=1416 kN<0.9$\varphi f_c A$=0.9 × 0.988 × 14.3 × 500 × 500=3179 (kN)，所以按构造配筋即可，选择 12 ⌀ 22(A_s=4561.2 mm²)

(3) 按构造要求配置箍筋。

选⌀ 10@200，柱端箍筋加密为⌀ 10@100。

(4) 验算。

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \times h} = \frac{4561.2}{500 \times 500} = 1.8\% > \rho_{min} = 0.55\%，且 < 5\%$$

(5) 画截面配筋图，如图 7.3 所示。

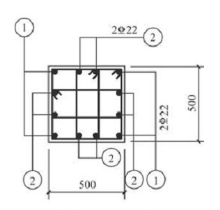


图 7.3　截面配筋图

7.1.2 偏心受压构件

受压力 N 和弯矩 M 共同作用的截面，等效于偏心距为 $e_0=M/N$ 的偏心受压截面，如图 7.4 所示。当偏心距 $e_0=0$，即弯矩 $M=0$ 时，为轴心受压情况；当 $N=0$ 时，为受纯弯情况。因此，偏心受压构件的受力性能和破坏形态介于轴心受压和受弯之间。为增强抵抗压力和弯矩的能力，偏心受压构件一般同时在截面两侧配置纵向钢筋 A_s 和 A_s'(A_s 侧为受拉侧钢筋，A_s'侧为受压侧钢筋)，同时构件中应配置必要的箍筋，防止纵向受压钢筋的压曲。


【钢筋混凝土柱的破坏】

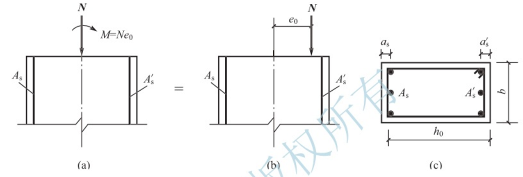


图 7.4　偏心受压构件计算简图

(a) 压弯构件；(b) 偏心受压构件；(c) 截面配筋

特别提示

(1) 偏心受压构件的纵向钢筋配置方式有两种，对称配筋和非对称配筋。在柱弯矩作用方向的两边对称配置相同的纵向受力钢筋，称为对称配筋；在柱弯矩作用方向的两边配置不同的纵向受力钢筋称为非对称配筋。

(2) 对称配筋构造简单，施工方便，不易出错，但用钢量较大；非对称配筋用钢量较省，但施工易出错。

(3) 框架结构中的柱为偏心受压构件，由于在不同荷载(如风荷载、竖向荷载)组合下，在同一截面内可能要承受不同方向的弯矩，即在某一种荷载组合作用下受拉的部位，在另一种荷载组合作用下可能就变为受压，当两种不同符号的弯矩相差不大时，为了设计、施工方便，通常采用对称配筋。

当相对偏心距 e_0/h_0 较大，且受拉侧钢筋 A_s 配置合适时，截面受拉侧混凝土较早出现裂缝，受拉侧钢筋的应力随荷载增加发展较快，首先达到屈服。此后，裂缝迅速开展，受压区高度减小，最后受压钢筋 A_s' 屈服，受压区混凝土压碎而达到破坏，这种破坏称为受拉破坏。由于受拉破坏通常在轴向力偏心距 e_0 较大时发生，故习惯上称为大偏心受压破坏。受拉破坏有明显预兆，属于延性破坏。

当截面相对偏心距 e_0/h_0 较小，或虽然相对偏心距 e_0/h_0 较大，但受拉侧纵向钢筋 A_s 配置较多时，截面受压侧混凝土和钢筋的受力较大，而受拉侧钢筋应力较小，甚至距轴向压力 N 较远侧钢筋 A_s 还可能出现受压情况。截面最后是由于受压区混凝土首先压碎而破坏，这种破坏称为受压破坏。由于受压破坏通常在轴向力偏心距 e_0 较小时发生，故习惯上称为小偏心受压破坏。受压破坏无明显预兆，属于脆性破坏。

7.2 钢筋混凝土柱构造要求

7.2.1 材料强度

一般柱中采用 C25 及以上等级的混凝土，对于高层建筑的底层柱可采用更高强度等级的混凝土；梁、柱纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335、HRBF335 钢筋。

7.2.2 截面形状和尺寸

钢筋混凝土受压构件为使制作方便，通常采用方形或矩形截面。其中，从受力合理考虑，轴心受压构件和在两个方向偏心距大小接近的双向偏心受压构件宜采用正方形，而单向偏心和主要在一个方向偏心的双向偏心受压构件则宜采用矩形 (较大弯矩方向通常为长边)。对于装配式单层厂房的预制柱，当截面尺寸较大时，为减轻自重，也通常采用 I 形截面。

构件截面尺寸应能满足承载力、刚度、配筋率、建筑使用和经济等方面的要求，不能过小，也不宜过大。可根据每层构件的高度、两端支承情况和荷载的大小选用。对于现浇的钢筋混凝土柱，由于混凝土自上而下灌下，为避免造成灌注混凝土困难，截面最小尺寸不宜小于 250 mm，此外，考虑到模板的规格，柱截面尺寸宜取整数。在 800 mm 以下时，取 50 mm 的倍数；在 800 mm 以上的，取 100 mm 的倍数。

7.2.3 纵向钢筋

1. 受力纵筋的作用

对于轴心受压构件和偏心距较小，截面上不存在拉力的偏心受压构件，纵向受力钢筋主要用来帮助混凝土承压，以减小截面尺寸；同时，也可增加构件的延性以及抵抗偶然因素所产生的拉力。对偏心较大，部分截面上产生拉力的偏心受压构件，截面受拉区的纵向受力钢筋则是用来承受拉力的。

2. 受力纵筋的配筋率

受压构件纵向受力钢筋的截面面积不能太小，也不宜过大。除满足计算要求外，还需满足最小配筋率要求。《混凝土结构设计规范》(2015 年版)(GB 50010—2010) 规定全部纵向钢筋的配筋率不宜大于 5%，当采用强度等级 300 MPa、335 MPa 钢筋时不应小于 0.60%，当采用强度等级为 400 MPa 的钢筋时不应小于 0.55%；当采用强度等级为 500 MPa 的钢筋时不应小于 0.50%；同时，一侧受压钢筋的配筋率不应小于 0.2%。从经济



和施工方便（不使钢筋太密集）的角度考虑，受压钢筋的配筋率一般不超过 3%，通常在 0.5% ~ 2% 之间。

特别提示

(1) 偏心受拉构件中的受压钢筋应按受压构件一侧纵向钢筋考虑。

(2) 当钢筋沿构件截面周边布置时一侧纵向钢筋系指沿受力方向两个对边中的一边布置的纵向钢筋。

3. 受力纵筋的直径

纵向受力钢筋宜采用直径较大的钢筋，以增大钢筋骨架的刚度、减少施工时可能产生的纵向弯曲和受压时的局部屈曲。纵向受力钢筋的直径不宜小于 12 mm，全部纵向钢筋的配筋率不宜大于 5%。

4. 受力纵筋的布置和间距

矩形截面钢筋根数不得少于 4 根，以便与箍筋形成刚性骨架。轴心受压构件中纵向受力钢筋应沿截面四周均匀配置，偏心受压构件中纵向受力钢筋应布置在离偏心压力作用平面垂直的两侧，如图 7.5 所示。圆形截面钢筋根数不宜少于 8 根，且不应少于 6 根，应沿截面四周均匀配置。纵向受力钢筋的净间距不应小于 50 mm，且不宜大于 300 mm；对于水平浇筑的预制柱，其净间距应可按梁的有关规定取用。偏心受压构件垂直于弯矩作用平面的侧面和轴心受压构件各边的纵向受力钢筋，其中距不宜大于 300 mm。

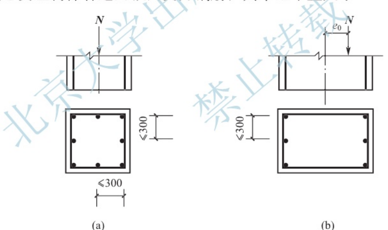


图 7.5 柱受力纵筋的布置

(a) 轴心受压柱；(b) 偏心受压柱

实例二中 KZ3 为 500 mm × 500 mm 矩形截面柱，所配纵筋为 12 ⌀ 22；KZ6 为直径 600 mm 的圆柱，其纵向钢筋为 12 ⌀ 20，均符合构造要求。

7.2.4 箍筋

1. 箍筋的作用

在受压构件中配置箍筋的目的是约束受压纵筋，防止其受压后外凸；密排式钢筋可约束内部混凝土，提高其强度；同时箍筋与纵筋构成骨架；一些剪力较大的偏心受压构件也

需要利用箍筋来抗剪。

2. 箍筋的形式

受压构件中的周边箍筋应做成封闭式。对于形状复杂的构件，不可采用具有内折角的箍筋(图 7.6)。其原因是，内折角处受拉箍筋的合力向外，可能使该处混凝土保护层崩裂。

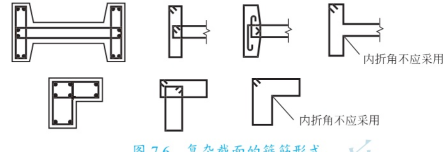


图 7.6　复杂截面的箍筋形式

当柱截面短边尺寸大于 400 mm，且各边纵向钢筋多于 3 根时，或当柱截面短边不大于 400 mm，但各边纵向钢筋多于 4 根时，应设置复合箍筋，其布置要求是使纵向钢筋至少每隔一根位于箍筋转角处，如图 7.7 和图 7.8 所示。

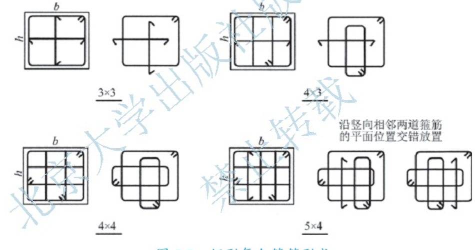






图 7.7　矩形复合箍筋形式

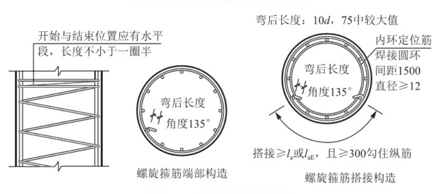


图 7.8　螺旋箍筋构造

3. 箍筋的直径和间距

箍筋直径不应小于 $d/4$，且不应小于 6 mm (d 为纵向钢筋的最大直径)。箍筋间距不应大于 400 mm 及构件截面的短边尺寸，且不应大于 $15d$(d 为纵向钢筋的最小直径)；柱中全部纵向受力钢筋的配筋率大于 3% 时，箍筋直径不应小于 8 mm，间距不应大于 $10d$ 且

不应大于 200 mm（d 为纵向受力钢筋的最小直径）；箍筋末端应做成 135° 弯钩，且弯钩末端平直段长度不应小于 10d（d 为箍筋的直径）。

柱内纵向钢筋搭接长度范围内的箍筋间距应加密，其直径不应小于搭接钢筋较大直径的 0.25 倍。当搭接钢筋受压时，箍筋间距不应大于 10d，且不应大于 200 mm；当搭接钢筋受拉时，箍筋间距不应大于 5d，且不应大于 100 mm，d 为纵向钢筋的最小直径。当受压钢筋直径 d>25 mm 时，尚应在搭接接头两个端面外 100 mm 范围内各设置两个箍筋。

7.3 框架结构抗震构造要求

震害调查表明，钢筋混凝土框架的震害主要发生在梁端、柱端和梁柱节点处。框架梁由于梁端处的弯矩、剪力均较大，并且是反复受力，故破坏常发生在梁端。梁端可能会由于纵筋配筋不足、钢筋端部锚固不好、箍筋配置不足等原因而引起破坏。框架柱由于两端弯矩大，破坏一般发生在柱的两端。柱端破坏可能由于柱内纵筋不足，箍筋较少，对混凝土约束差而引起破坏。梁柱节点多由于节点内未设箍筋或箍筋不足，以及核芯区钢筋过密而影响混凝土浇筑质量引起破坏。

7.3.1 抗震等级

《建筑抗震设计规范》(2016 年版)(GB 50011—2010) 根据建筑物的重要性、设防烈度、结构类型和房屋高度等因素，将其抗震要求以抗震等级来表示，抗震等级分为四级，现浇钢筋混凝土框架结构的抗震等级划分具体见表 7-3。一级抗震要求最高，四级抗震要求最低，对于不同抗震等级的建筑物采取不同的计算方法和构造要求，以利于做到经济合理地设计。

表 7-3　现浇钢筋混凝土框架结构的抗震等级

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">结构类型</th><th colspan="10">设防烈度</th></tr>
<tr><th colspan="2">6</th><th colspan="3">7</th><th colspan="3">8</th><th colspan="2">9</th></tr>
<tr><td rowspan="3">框架结构</td><td>高度 /m</td><td>≤ 24</td><td>>24</td><td>≤ 24</td><td colspan="2">>24</td><td>≤ 24</td><td colspan="2">>24</td><td colspan="2">≤ 24</td></tr>
<tr><td>框架</td><td>四</td><td>三</td><td>三</td><td colspan="2">二</td><td>二</td><td colspan="2">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td>大跨度框架</td><td colspan="2">三</td><td colspan="3">二</td><td colspan="3">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
<tr><td rowspan="3">框架抗震墙结构</td><td>高度 /m</td><td>≤ 60</td><td>>60</td><td>≤ 24</td><td>25 ～ 60</td><td>>60</td><td>≤ 24</td><td>25 ～ 60</td><td>>60</td><td>≤ 24</td><td>25 ～ 50</td></tr>
<tr><td>框架</td><td>四</td><td>三</td><td>四</td><td>三</td><td>二</td><td>三</td><td>二</td><td>一</td><td>二</td><td>一</td></tr>
<tr><td>抗震墙</td><td colspan="2">三</td><td>三</td><td colspan="2">二</td><td>二</td><td colspan="2">一</td><td colspan="2">一</td></tr>
</table>

注：1．建筑场地为 I 类时，除 6 度外应允许按表内降低一度所对应的抗震等级采取抗震构造措施，但相应的计算要求不应降低。

2．接近或等于高度分界时，应允许结合房屋不规则程度及场地、地基条件确定抗震等级。

3．大跨度框架指跨度不小于 18m 的框架。

特别提示

(1) 我国抗震设防烈度为 6 ～ 9 度，必须进行抗震计算和构造设计。

(2) 在进行建筑设计时，应根据建筑的重要性不同，采取不同的抗震设防标准。《建筑工程抗震设防分类标准》将建筑按其使用功能的重要程度不同，分为甲、乙、丙、丁四类。

(3) 实例二现浇框架抗震等级为三级，但该项目为教学楼，属重点设防类建筑，应按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施，即该框架采取二级抗震构造措施。

7.3.2 框架梁构造要求

1. 截面尺寸

梁的截面宽度不宜小于 200 mm，截面高宽比不宜大于 4，净跨与截面高度之比不宜小于 4。

2. 纵向钢筋

(1) 梁端纵向受拉钢筋的配筋率不宜大于 2.5%，且计入受压钢筋的梁端混凝土受压区高度和有效高度之比，一级不应大于 0.25，二、三级不应大于 0.35。

(2) 梁端截面的底面和顶面纵向钢筋配筋量的比值，除按计算确定外，一级不应小于 0.5，二、三级不应小于 0.3。

(3) 沿梁全长顶面和底面的配筋，一、二级不应小于 2ϕ14，且分别不应小于梁两端顶面和底面纵向钢筋中较大截面面积的 1/4，三、四级不应小于 2ϕ12。


【框架梁】

(4) 一、二、三级框架梁内贯通中柱的每根纵向钢筋直径，对矩形截面柱，不宜大于柱在该方向截面尺寸的 1/20；对圆形截面柱，不宜大于纵向钢筋所在位置柱截面弦长的 1/20。抗震框架梁和屋面框架梁纵向钢筋构造如图 7.9 所示。

实例二中 KL3 截面为 250 mm × 600 mm；梁端顶部所配钢筋为 2Φ22 ＋ 2Φ20，底部钢筋为 3Φ20；沿梁全长顶面钢筋为 2Φ22；KZ3 截面尺寸为 500 mm × 500 mm，柱中的纵向钢筋直径为 22 mm；梁、柱截面和纵筋均符合构造要求。框架中的其余梁、柱也都符合相关构造要求。

3. 箍筋

梁端箍筋应加密 (图 7.10)，箍筋加密区的范围和构造要求应按表 7-4 采用，当梁端纵向受拉钢筋配筋率大于 2% 时，表中箍筋最小直径数值应增大 2 mm。梁端加密区的肢距，一级不宜大于 200 mm 和 20*d*(*d* 为箍筋直径较大者)，二、三级不宜大于 250 mm 和 20*d*，四级不宜大于 300 mm。

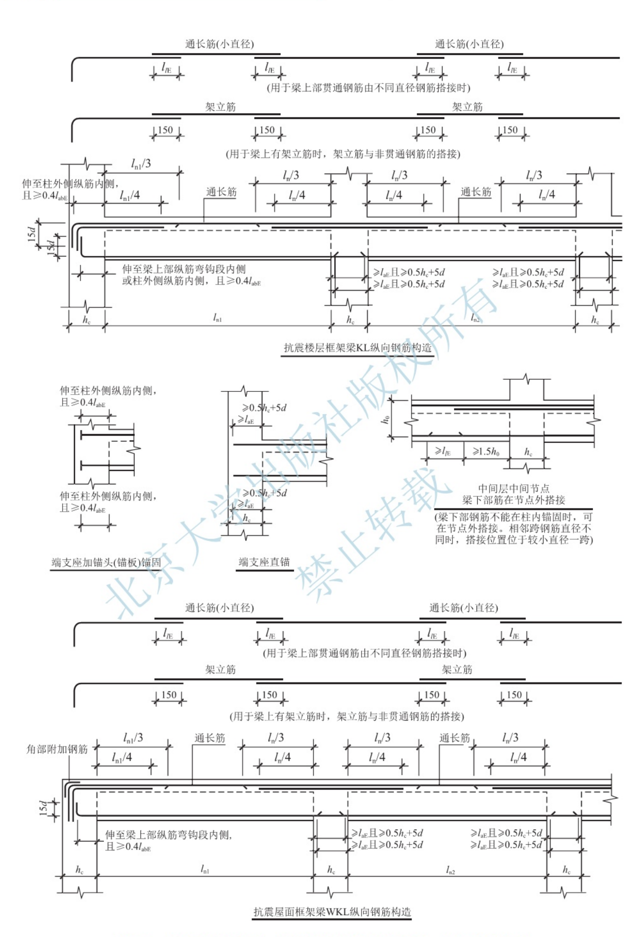


图 7.9　抗震框架梁 KL 和抗震屋面框架梁 WKL 纵向钢筋构造

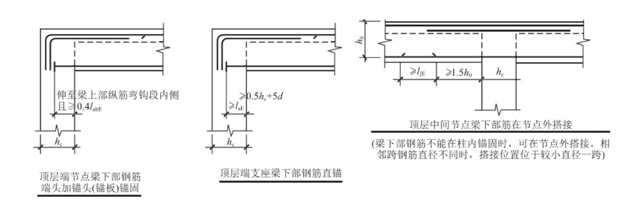


图 7.9 抗震框架梁 KL 和抗震屋面框架梁 WKL 纵向钢筋构造（续）

表 7-4 梁端箍筋加密区的长度、箍筋的最大间距和最小直径

抗震等级	加密区长度 /mm（采用较大值）	箍筋最大间距 /mm（采用最小值）	箍筋最小直径 /mm
一	$2h_b$，500	$h_b/4$，$6d$，100	10
二	$1.5h_b$，500	$h_b/4$，$8d$，100	8
三	$1.5h_b$，500	$h_b/4$，$48d$，150	8
四	$1.5h_b$，500	$h_b/4$，$8d$，150	6

注：d 为纵向钢筋直径，h_b 为梁截面高度。一、二级抗震等级框架梁，当箍筋直径大于 12 mm 且肢数不少于 4 肢时，箍筋加密区最大间距应允许适当放松，但不应大于 150 mm。

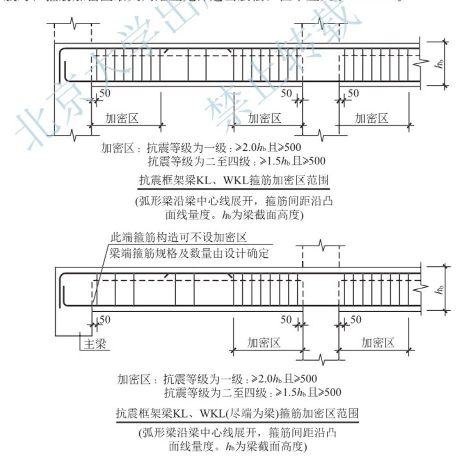


图 7.10 抗震 KL、WKL 箍筋构造

应用案例

实例二为二层全现浇钢筋混凝土框架结构，层高 3.6m，平面尺寸为 45m × 17.4m。建筑抗震设防等级为 7 度。建筑平立剖面图见实例二建施图。该框架建筑抗震设防类别为重点设防类 (乙类)，采取二级抗震构造措施。

以 KL3 为例 (图 7.11)，该框架梁有三跨，两端跨截面尺寸 250 mm × 600 mm，中跨 250 mm × 400 mm，符合抗震框架梁截面尺寸不宜小于 200 mm，高宽比不宜大于 4 的要求。

该梁上部，A 支座 2Φ22 ＋ 2Φ20，B 支座 2Φ22 ＋ 2Φ20，C 支座 2Φ22 ＋ 4Φ20(4/2)，在 D 支座 4Φ22，通长筋为③号钢筋 2Φ22。梁下部第一跨纵筋 3Φ20，第二跨纵筋 3Φ18，下部第三跨纵筋 2Φ25 ＋ 2Φ22。符合二级框架应配置不少于 2Φ14 通长纵向钢筋的要求。

KL3 支座上部钢筋为两排，第二排钢筋应在伸出支座后 $l_n/4$ 处切断，即 $l_n/4$=6700/4=1675 (mm)，取 1700 mm；第一排钢筋应在伸出支座后 $l_n/3$ 处切断，即 $l_n/3$=6700/3=2233 (mm)，取 2250 mm。l_n 为左跨 2500 mm 和右跨 6700 mm 两者中的较大值。

该梁左端跨箍筋为Φ8@100/200(2)，中跨、右跨为Φ8@100(2)。根据表 7-4 的规定，抗震等级为二级时，箍筋最小直径为 8 mm，最大间距为 $h_b/4$、8d、100 中的较小值。$h_b/4$=600/4=150 (mm)；8d=8 × 22=176 (mm)；100 mm；采用Φ8@100 符合要求。加密区长度应取 1.5h_b=1.5 × 600=900 (mm) 和 500 mm 的较大值，即 900 mm。

该梁两端跨截面尺寸为 250 mm × 600 mm，截面腹板高度大于 450 mm，在梁的两侧沿高度配置纵向构造钢筋 (CD 跨 4Φ14 为抗扭钢筋)4Φ12，用于防止在梁的侧面产生垂直于梁轴线的收缩裂缝，同时也可增强钢筋骨架的刚度。同时用拉筋Φ8@400 连系纵向构造钢筋。

7.3.3 框架柱构造要求

1. 截面尺寸

框架柱矩形截面的长边和短边尺寸，抗震等级为四级或不超过 2 层时不宜小于 300 mm；抗震等级为一、二、三级且超过 2 层时不宜小于 400 mm。圆柱直径，抗震等级为四级或不超过 2 层时不宜小于 350 mm；抗震等级为一、二、三级且超过 2 层时不宜小于 450 mm。剪跨比宜大于 2；截面长边与短边的边长比不宜大于 3。

2. 纵向钢筋

(1) 柱纵向钢筋的最小总配筋率应满足规定，同时每一侧配筋率不应小于 0.2%。

(2) 柱中纵筋宜对称配置。

(3) 截面尺寸大于 400 mm 的柱，其纵向钢筋间距不宜大于 200 mm。

(4) 柱总配筋率不应大于 5%。

(5) 抗震等级为一级且剪跨比不大于 2 的柱，其每侧纵向钢筋配筋率不宜大于 1.2%。


【框架柱】

(6) 边柱、角柱在地震作用组合产生小偏心受拉时，柱内纵筋总截面面积应比计算值增加 25%。

(7) 柱纵向钢筋的绑扎接头应避开柱端的箍筋加密区。

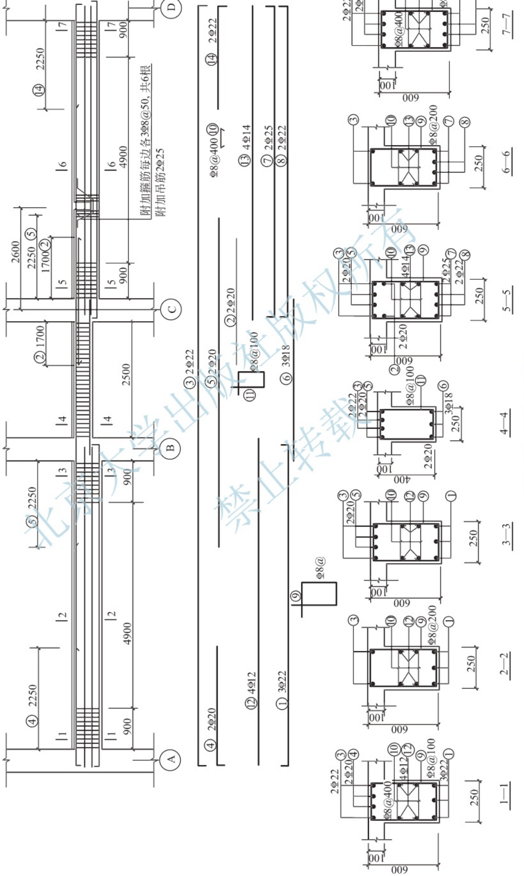


图 7.11 KL3 配筋图

3. 箍筋

框架柱的上下端箍筋应加密 (图 7.12)。一般情况下，柱梁端加密区的范围和构造要求应按表 7-5 采用；二级框架柱的箍筋直径不小于 10 mm 且箍筋距不大于 200 mm，除柱根外最大间距应允许采用 150 mm；三级框架柱的截面尺寸不大于 400 mm 时，箍筋最小直径应允许采用 6 mm；四级框架柱剪跨比不大于 2 时，箍筋直径不应小于 8 mm。

抗震KZ、QZ、LZ箍筋加密区范围

(a)

(b)

底层刚性地面上下各加密500

(c)

图 7.12　抗震框架柱箍筋加密

表 7-5 柱箍筋加密区长度、箍筋最大间距和最小直径

抗震等级	箍筋最大间距 /mm （采用较小值）	箍筋最小直径 /mm	箍筋加密区长度 /mm （采用较大者）
一	$6d$，100	10	$H(D)$ $H_n/6$ 500
二	$8d$，100	8	
三	$8d$，150(柱根 100)	8	
四	$8d$，150(柱根 100)	6(柱根 8)	

注：d 为柱纵筋最小直径，h 为矩形截面长边尺寸，D 为圆柱直径，H_n 为柱净高；柱根指框架底层柱的嵌固部位。

柱箍筋加密区箍筋肢距，一级不宜大于 200 mm，二、三级不宜大于 250 mm 和 20 倍箍筋直径的较大值，四级不宜大于 300 mm。至少每隔一根纵向钢筋宜在两个方向有箍筋或拉筋约束；采用拉筋复合箍时，拉筋宜紧靠纵向钢筋并勾住箍筋。

4. 抗震框架柱纵向钢筋连接构造 (图 7.13 ~ 图 7.16)

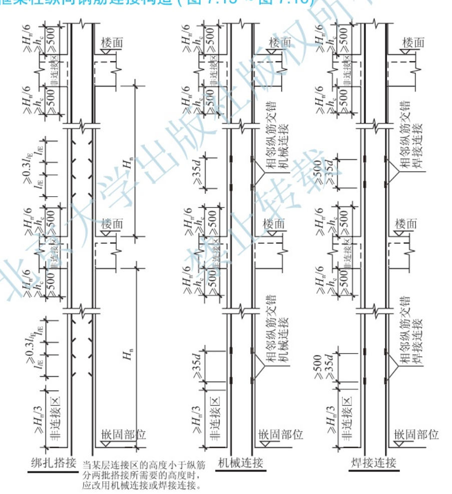


图 7.13 抗震 KZ 纵向钢筋连接 (一)

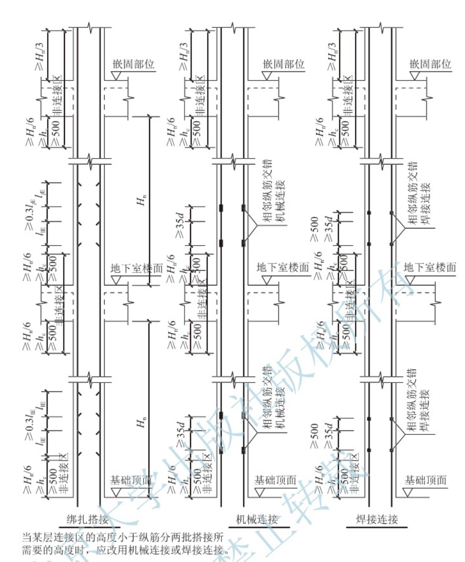


图 7.14　抗震 KZ 纵向钢筋连接 (二)

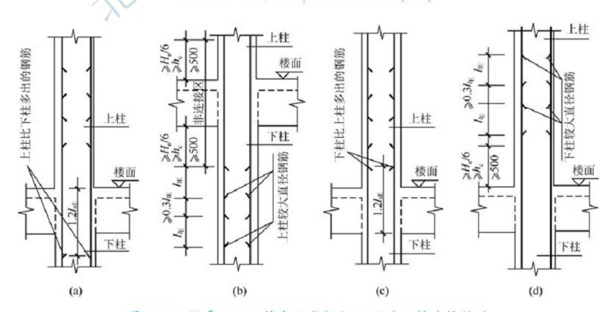


图 7.15　抗震 KZ 纵筋直径或根数不同时纵筋连接构造

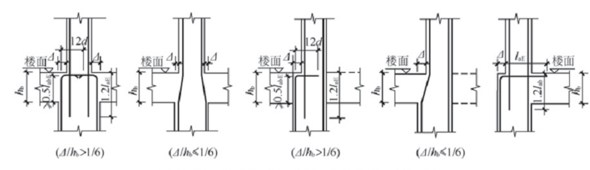


图 7.16　抗震 KZ 变截面位置纵向钢筋构造

框架柱的箍筋加密区长度，应取柱截面长边尺寸（或圆形截面直径）、柱净高的$\frac{1}{6}$和 500 mm 中的最大值；一、二级抗震等级的角柱全高加密箍筋。底层柱根箍筋加密区长度应取不小于该层柱净高的$\frac{1}{3}$；当有刚性地面时，除柱端箍筋加密区外尚应在刚性地面上、下各 500 mm 的高度范围内加密箍筋。

实例解读

实例二中框架柱 KZ3 截面 500 mm × 500 mm，柱中纵向受力钢筋 12Φ22，箍筋Φ10@100/200，柱高度自基础顶到 7.200 m。

该框架柱采用对称配筋，沿柱边均匀布置有 12Φ22 钢筋，纵筋间距不大于 200 mm。纵筋采用搭接连接，搭接位置在楼层梁顶标高以上 1000 mm 范围内，且该范围箍筋加密间距为 100 mm。顶层柱纵筋伸至柱顶并向外弯折锚固于梁内。

5. 框架节点的构造要求

（1）框架节点核心区内应设置箍筋，直径和间距按加密区设置。

（2）框架梁纵向受力钢筋的构造要求。

在中间层边节点处，上部钢筋和下部钢筋均应进行锚固；顶层及中间层中间节点处，梁上部钢筋应贯穿，下部钢筋可进行锚固也可在节点处搭接；顶层边节点处，梁上部钢筋与柱外侧纵筋进行搭接，下部钢筋应进行锚固。详见图 7.9。

（3）框架柱纵向受力钢筋的构造要求。

中间层边节点及中间节点处，柱纵筋宜贯穿，如出现特殊情况可锚固；顶层中间节点处，柱纵筋应锚固；顶层边节点处，柱外侧纵筋与梁上部纵筋应搭接，柱内侧纵筋应锚固。详见图 7.17 及图 7.18。

实例解读

实例二 KZ3 配筋图中，顶层中间节点柱内纵向钢筋 3Φ25 和 4Φ25 伸入柱顶向外弯入框架梁内进行锚固，锚固长度不小于 12d。顶层端节点柱内侧钢筋的锚固要求同顶层中间节点的纵向钢筋，外侧纵筋与梁上部纵筋在节点内搭接连接。

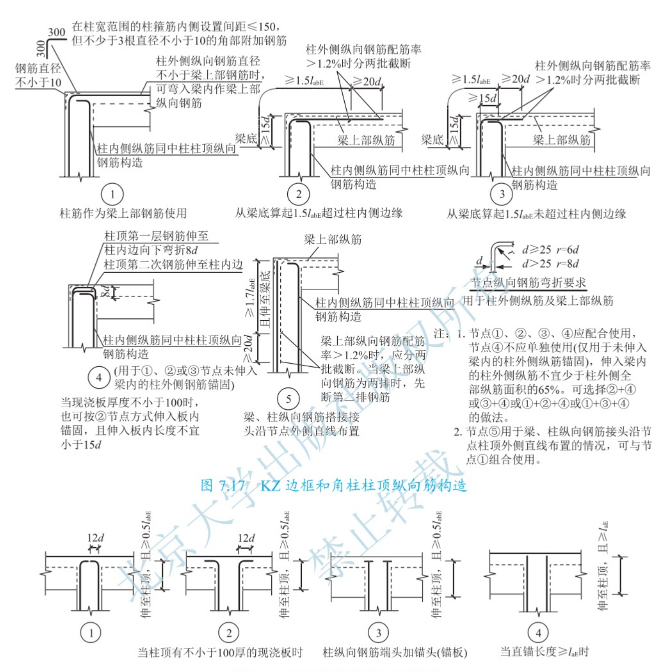


图 7.17 KZ 边框和角柱柱顶纵向筋构造

图 7.18 KZ 中柱柱顶纵向构造

模块小结

轴心受压构件的承载力由混凝土和纵向受力钢筋两部分抗压能力组成，同时要考虑纵向弯曲对构件截面承载力的影响。其计算公式为

$$N \leqslant 0.9\varphi(f_c A + f'_y A'_s)$$

偏心受压构件按其破坏特征不同，分为大偏心受压构件和小偏心受压构件。

现浇框架的连接构造要求主要是梁与柱、柱与柱之间的配筋构造要求。梁、柱节点构造是保证框架结构整体空间性能的重要措施。

本模块对于抗震措施的框架节点构造要求进行了详细的阐述。

习　题

1. 填空题

(1) 钢筋混凝土轴心受压构件的承载力由 ________ 和 ________ 两部分抗压能力组成。

(2) 钢筋混凝土柱中箍筋的作用之一是约束纵筋，防止纵筋受压后 ________。

(3) 钢筋混凝土柱中纵向钢筋净距不应小于 ________mm。

(4) 框架的抗震等级分为 ________ 级。

(5) 考虑抗震要求，框架柱截面的长边和短边尺寸不宜小于 ________mm。

2. 选择题

(1)《混凝土结构设计规范》(2015 年版)(GB 50010—2010) 规定的受压构件全部受力纵筋的配筋率不宜大于 (　　)。

A．4%　　B．5%　　C．6%　　D．4.5%

(2) 关于钢筋混凝土柱构造要求的叙述中，不正确的是 (　　)。

A．纵向钢筋配置越多越好　　B．纵向钢筋沿周边布置

C．箍筋应形成封闭　　D．纵向钢筋净距不小于 50 mm

3. 判断题

(1) 大偏心受压破坏的截面特征是：受压钢筋首先屈服，最终受压边缘的混凝土也因压应变达到极限值而破坏。　(　　)

(2) 一般柱中箍筋的加密区位于柱的中间部位。　(　　)

(3) 框架梁下部纵向受力钢筋不允许在节点内接头。　(　　)

(4) 框架柱纵向钢筋的接头可采用绑扎搭接、机械连接或焊接连接等方式，宜优先采用绑扎搭接。　(　　)





模块8 钢筋混凝土楼盖、楼梯及雨篷

教学目标

通过本模块的学习，了解钢筋混凝土楼盖的分类和构造特点，理解单向板和双向板的划分方法；掌握钢筋混凝土单向板的结构平面布置及构造规定；理解装配式楼盖结构平面布置方案、连接构造要求；掌握钢筋混凝土板式楼梯的配筋构造；了解雨篷的组成、受力特点及构造要求。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
根据不同的建筑要求和使用条件选择合适的结构类型	楼盖的分类、受力特点	10%
能进行单向板肋梁楼盖施工图	配筋构造	50%
能进行板式楼梯设计	配筋及构造要求	30%
正确理解雨篷的构造要求	雨篷的受力特点、构造要求	10%

学习重点

钢筋混凝土楼盖的分类及构造要求；楼梯及雨篷的构造要求。

引例

钢筋混凝土梁板结构是土木工程中应用最为广泛的一种结构形式，楼盖是建筑结构的重要组成部分，在混合结构房屋中，楼盖的造价约占房屋总造价的30% ~ 40%，因此，楼盖结构形式选择和布置的合理性，以及结构计算和构造的正确性，对建筑物的安全使用和技术经济指标有着非常重要的意义。实例一的楼盖为钢筋混凝土装配式楼盖，如图8.1(a)所示，开间3.3 m，在楼盖里有钢筋混凝土梁L1、L2等。实例二的楼盖为钢筋混凝土现浇楼盖，如图8.1(b)所示，柱距9 m，梁间距3 m。

思考：两种楼盖各有何优缺点？楼盖为什么这么布置？楼盖内的钢筋又是如何布置的？

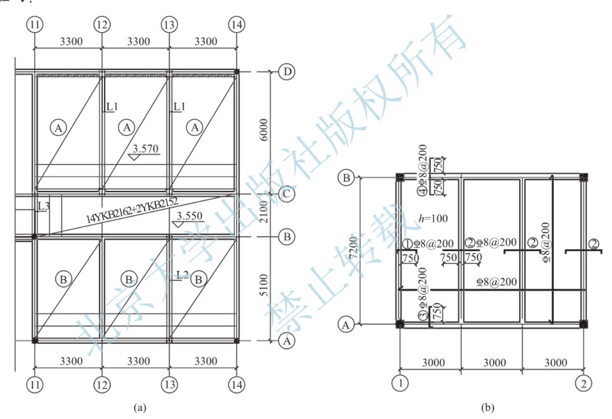


图8.1 钢筋混凝土楼盖

(a) 实例一的钢筋混凝土装配式楼盖；(b) 实例二的钢筋混凝土现浇楼盖

8.1 钢筋混凝土楼盖的分类

钢筋混凝土楼盖按施工方法不同可分为现浇式、装配式和装配整体式三种形式。

现浇式楼盖整体性好、刚度大、防水性好且抗震性强，能适应房间的平面形状、设备管道、荷载或施工条件比较特殊的情况。其缺点是费工、费模板、工期长、施工受季节限制。整体现浇式楼盖结构按楼板受力和支承条件的不同，又分为肋梁楼盖、井式楼盖、密

肋楼盖和无梁楼盖(图 8.2)。肋梁楼盖又分为双向板肋梁楼盖和单向板肋梁楼盖，双向板肋梁楼盖多用于公共建筑和高层建筑，单向板肋梁楼盖广泛用于多层厂房和公共建筑。

装配式楼盖的楼板采用混凝土预制构件，便于工业化生产，在多层民用建筑和工业厂房中得到广泛应用。但是，这种楼面整体性、防水性和抗震性都较差。

装配整体式楼盖，其整体性较装配式的好，又较现浇式的节省模板和支撑。但这种楼盖需要进行混凝土的二次浇筑，有时还须增加焊接工作量，故对施工进度和造价都带来一些不利影响。

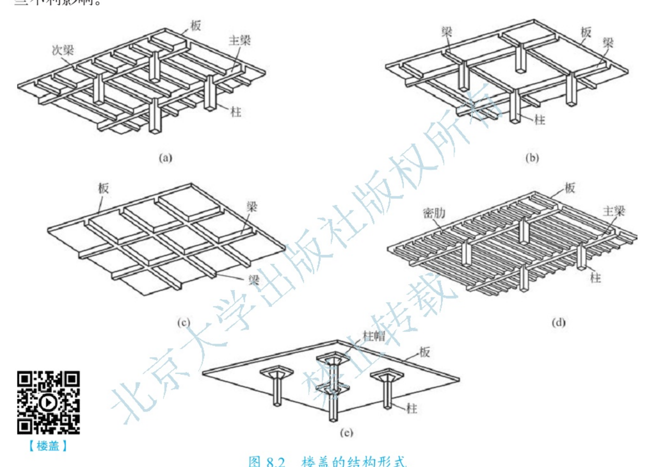


图 8.2　楼盖的结构形式

(a) 单向板肋梁楼盖；(b) 双向板肋梁楼盖；(c) 井式楼盖；(d) 密肋楼盖；(e) 无梁楼盖

8.2　现浇肋梁楼盖

现浇肋梁楼盖由板、次梁和主梁组成，其中板被梁划分成许多区格，每一区格的板一般是四边支承在梁或墙体上。对于四边支承的板，当板的长边 l_2 与短边 l_1 之比 $l_2/l_1 \geq 3$ 时，板上的荷载主要沿短边 l_1 方向传递到支撑梁或墙体上，而沿长边传递的荷载很小，可以忽略不计，板仅沿短边方向受力的楼盖称为单向板肋梁楼盖；当板的长边 l_2 与短边 l_1 之比 $l_2/l_1 \leq 2$ 时，板上荷载将通过两个方向传递到支撑梁或墙体上，板沿两个方向受力的楼

盖称为双向板肋梁楼盖；对于 $2<l_2/l_1<3$ 的板，宜按双向板计算，若按单向板计算，沿长边方向应配有足够的构造钢筋。

8.2.1 单向板肋梁楼盖

1. 结构平面布置

在肋梁楼盖中，结构布置包括柱网、承重墙、梁格和板的布置，柱网尽量布置成长方形或正方形。主梁有沿横向和纵向两种布置方案 (图 8.3)。

单向板肋梁楼盖中，单向板、次梁和主梁的常用跨度：板的跨度为 1.7 ～ 2.7 m，一般不宜超过 3 m；次梁的跨度一般为 4 ～ 6 m；主梁的跨度一般为 5 ～ 8 m。

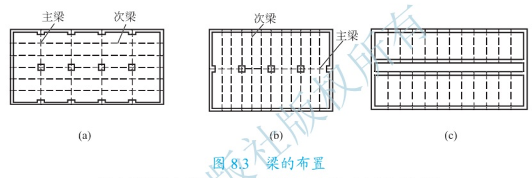


图 8.3 梁的布置

(a) 主梁沿横向布置；(b) 主梁沿纵向布置；(c) 有中间走道

特别提示

柱网及梁格的布置除考虑上述因素外，梁格布置应尽可能是等跨的，且最好边跨比中间跨稍小 (约在 10% 以内)，因边跨弯矩较中间跨大些；在主梁跨间的次梁根数宜多于一根，以使主梁弯矩变化较为平缓，对梁的受力有利。

2. 单向板肋梁楼盖构造要求

1) 单向板构造要求

单向板的构造要求同模块 6 中论述。配筋常采用分离式配筋，即跨中正弯矩钢筋 (图 8.4 中⑤号筋) 宜全部伸入支座锚固，而在支座处另配负弯矩钢筋 (图 8.4 中②号筋)，其范围应能覆盖负弯矩区域并满足锚固要求。

(1) 钢筋的截断。对于承受均布荷载的等跨连续单向板或双向板，受力钢筋的截断位置可按图 8.4 确定，支座处的负弯矩钢筋，可在距支座边不小于 a 的距离处截断，其取值如下：

当 $q/g \leqslant 3$ 时，$a=l_n/4$；

当 $q/g>3$ 时，$a=l_n/3$。

式中，g、q——恒荷载及活荷载设计值；

l_n——板的净跨度。

(2) 板内构造钢筋。板内的构造钢筋种类较多，具体情况见表 8-1。

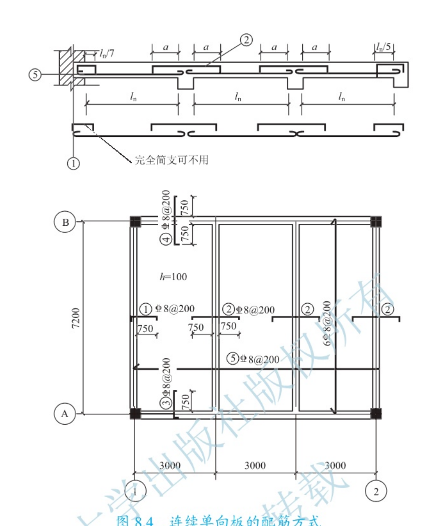


图 8.4　连续单向板的配筋方式

表 8-1　板内构造钢筋布置

名称	位置	作用	伸入板内长度	最小用量	最小直径及最大间距	备注
分布筋	受力筋内侧垂直受力筋	抵抗混凝土收缩或温度变化产生的内力；将荷载均匀地传递给受力筋；固定受力筋；承担计算中未考虑的长边方向的弯矩	贯通	≥ 15%A_s(A_s 为受力筋截面面积)，且配筋率不宜小于 0.15%	Φ6@250(集中荷载较大时，间距不宜大于 200 mm)	图 8.4 ⑥号筋
主梁板面构造筋	主梁上侧；垂直于主梁	承担负弯矩，防止产生过大的裂缝	不宜小于 $l_0/4$	不宜小于底部受力筋截面面积的 1/3	Φ8@200	图 8.4 ④号筋、图 8.5(b)
砌体墙中板面附加筋	承重墙边沿上侧；垂直于墙体	承担负弯矩	不宜小于 $l_0/7$		Φ8@200	图 8.5(a)
砌体墙中板角双向附加筋	墙内板角 $l_0/4$ 部分上侧	防止由于板角翘离支座而产生的墙边裂缝和板角斜裂缝	不宜小于 $l_0/4$		Φ8@200	图 8.5(a)
现浇支座上部构造筋	周边与混凝土梁或墙体整浇的板上侧		不宜小于 $l_0/5$	不宜小于底部受力筋截面面积的 1/3	Φ8@200	图8.4①、③号筋


特别提示

表 8-1 和图 8.5 中所示的 l_0 为单向板短边计算跨度。

2) 次梁构造要求

(1) 截面尺寸：一般次梁的跨度 l=4 ~ 6 m，梁高 h=(1/18 ~ 1/12)l，梁宽 b=(1/3 ~ 1/2)h，纵向钢筋的配筋率一般取为 0.6% ~ 1.5%。

(2) 次梁伸入墙内的支承长度一般不小于 240 mm。

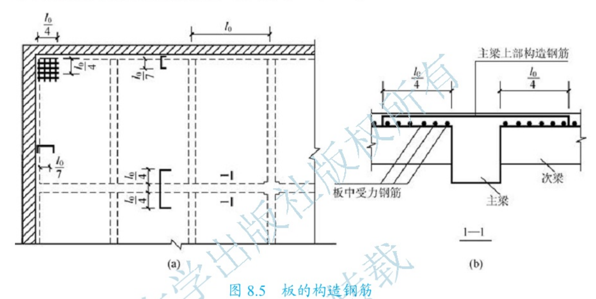


图 8.5 板的构造钢筋

(a) 板中构造配筋平面布置；(b) 板中垂直于主梁的构造钢筋

(3) 钢筋直径：梁的纵向受力钢筋及架立钢筋的直径不宜小于表 8-2 的规定。

表 8-2 梁内纵向钢筋的最小直径

钢筋类型	受力钢筋		架立钢筋		
条件	h<300 mm	$h \geqslant$ 300 mm	l<4 m	4 m $\leqslant l \leqslant$ 6 m	l>6 m
直径 d/mm	8	10	8	10	12

注：表中 h 为梁高，l 为梁的跨度。

(4) 配筋构造要求：对于相邻跨度相差不超过 20%，且均布活荷载和恒荷载的比值 $q/g \leqslant 3$ 的连续次梁，其纵中向受力钢筋的弯起和截断，可按图 8.6 进行。


特别提示

(1) 图 8.6 中，l_n 为 l_{n1}、l_{n2} 两者的较大值。

(2) 梁下部的纵向钢筋除弯起的外，应全部伸入支座锚固，不得在跨间截断。

(3) 连续次梁因截面上、下均配置受力钢筋，所以一般均沿梁全长配置封闭式箍筋，第一根箍筋可距支座边 50 mm 处开始布置，在简支端支座范围一般宜布置两道箍筋。

3) 主梁的构造要求

(1) 截面尺寸：主梁的跨度 l 一般取 5 ~ 8 m，梁高 h=(1/12 ~ 1/8)l，梁宽

b=(1/3 ～ 1/2)h，纵向钢筋的配筋率一般为 0.6% ～ 1.5%。

(2) 主梁伸入墙体的支承长度一般不小于 370 mm。

(3) 钢筋的直径及间距要求与次梁相同。

(4) 主梁附加横向钢筋：主梁和次梁相交处，在集中荷载影响区 s 范围内加设附加横向钢筋（箍筋、吊筋），设置要求见模块 6 中相关内容。

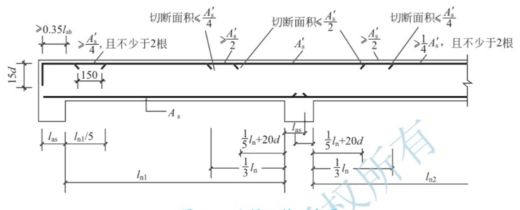


图 8.6　次梁配筋示意图

8.2.2 双向板肋梁楼盖

(1) 双向板的厚度。一般在 80 ～ 160 mm 之间，为保证板的刚度，板厚 h 还应符合：简支板，$h>l_x/45$；连续板，$h>l_x/50$，l_x 为短方向跨度。

(2) 钢筋的配置。受力钢筋沿纵横两个方向设置，此时应将弯矩较大方向的钢筋设置在外层，另一方向的钢筋设置在内层；板的配筋形式类似于单向板，沿墙边及墙角的板内构造钢筋与单向板楼盖相同。

受力钢筋的直径、间距、截断点的位置等均可参照单向板配筋的有关规定。

应用案例8-1

实例一中卫生间楼面现浇板短边尺寸 3300 mm，长边尺寸 6000 mm，长边与短边之比为 1.82 ≤ 2，且四边支撑在墙上，故为单跨双向板，如图 8.7(a) 所示。①号钢筋在②号钢筋的外侧，③号筋为板面构造钢筋。屋面卫生间与楼梯间一块现浇，为双跨双向板，如图 8.7(b) 所示。板下部两个方向的钢筋都是受力钢筋，短向钢筋①号放在长向钢筋②的外侧。板上部沿墙体设置的钢筋是构造钢筋，长度是 $l_x/4$(l_x 为较小跨度)=3300 mm/4，取 800 mm。

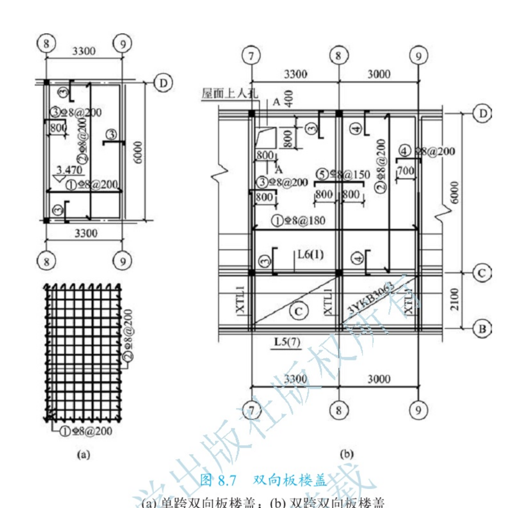


图 8.7　双向板楼盖

(a) 单跨双向板楼盖；(b) 双跨双向板楼盖

8.3　楼梯与雨篷

8.3.1　楼梯

最常见的现浇楼梯可分为板式楼梯和梁式楼梯。

【楼梯】

1. 板式楼梯

板式楼梯由梯段板、平台板和平台梁组成(图 8.8)。梯段是斜放的齿形板，支承在平台梁上和楼层梁上，底层下端一般支承在地垄墙上。板式楼梯的优点是下表面平整，施工支模较方便，外观比较轻巧。其缺点是斜板较厚，其混凝土用量和钢材用量都较多，一般适用于梯段板的水平跨长不超过 3 m 时。为避免斜板在支座处产生裂缝，应在板上面配置一定量的钢筋，一般取φ 8@200 mm，长度为 $l_n/4$，分布钢筋可采用φ 6 或φ 8，每级踏步一根。

平台板一般都是单向板，考虑到板支座的转动会受到一定约束，一般应将板下部受力钢筋在支座附近弯起一半，必要时可在支座处板上面配置一定量钢筋，伸出支承边缘长度

为 $l_n/4$，如图 8.9 所示。

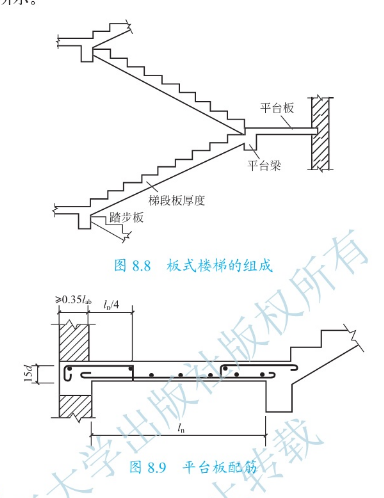


图 8.8　板式楼梯的组成

图 8.9　平台板配筋

2. 梁式楼梯

梁式楼梯由踏步板、斜梁、平台板和平台梁组成(图 8.10)。

踏步板为两端简支在斜梁上的单向板(图 8.11)，板厚一般不小于 30 ～ 40 mm，每一级踏步一般需配置不少于 2Φ6 的受力钢筋，沿斜向布置间距不大于 300 mm 的 Φ6 分布钢筋。斜梁的受力特点与梯段斜板相似，斜梁的配筋构造图如图 8.12 所示。平台梁主要承受斜边梁传来的集中荷载(由上、下楼梯斜梁传来)和平台板传来的均布荷载，一般按简支梁计算。

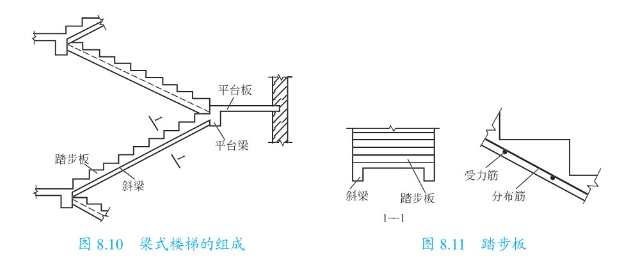


图 8.10　梁式楼梯的组成　　图 8.11　踏步板

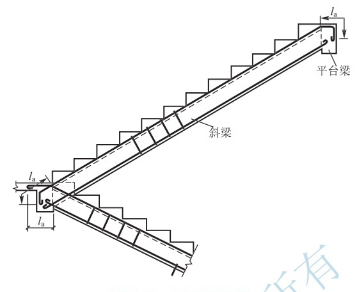




图 8.12 斜梁的配筋

特别提示

当楼梯下净高不够时，可将楼层梁向内移动，这样板式楼梯的梯段就成为折线形。对此设计中应注意两个问题：①梯段中的水平段，其板厚应与梯段相同，不能处理成和平台板同厚；②内折角处的下部受拉纵筋不允许沿板底弯折，以免产生向外的合力将该处的混凝土崩脱，应将此处纵筋断开，各自延伸至上面再行锚固。若板的弯折位置靠近楼层梁，板内可能出现负弯矩，则板上面还应配置承担负弯矩的短钢筋（图 8.13）。

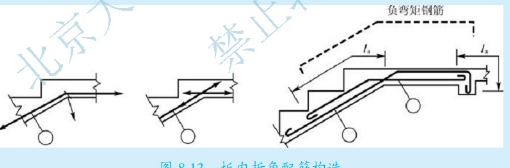




图 8.13 板内折角配筋构造

8.3.2 雨篷

案例导入

某百货大楼一层橱窗上设置有挑出 1200 mm 通长现浇钢筋混凝土雨篷，如图 8.14(a) 所示。待混凝土达到设计强度折模时，突然发生从雨篷根部折断的质量事故，折断的雨篷呈门帘状，如图 8.14(b) 所示。

原因是受力筋放错了位置（离模板只有 20 mm）所致。原来受力筋按设计布置，钢筋工绑扎好后就离开了。浇筑混凝土前，一些“好心人”看到雨篷钢筋浮搁在过梁箍筋上，



受力筋又放在雨篷顶部(传统的概念总以为受力筋就放在构件底面)，就把受力筋临时改放到过梁的箍筋里面，并贴着模板。浇筑混凝土时，现场人员没有对受力筋位置进行检查，于是发生上述事故。

点评：雨篷、外阳台、挑檐是建筑工程中常见的悬挑构件，也是工程中出现事故较多的构件，因此，在施工中应注意对其钢筋进行检验检查。另外，它们的设计除与一般梁板相似以外，还存在倾覆的危险，在施工管理中也应加强注意。

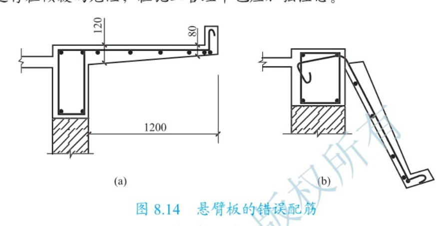


图 8.14　悬臂板的错误配筋

(a) 设计图；(b) 事故图

板式雨篷一般由雨篷板和雨篷梁两部分组成(图 8.15)。雨篷梁既是雨篷板的支承，又兼有过梁的作用。





【雨篷】

图 8.15　板式雨篷

1. 雨篷的破坏形式

(1) 雨篷板在支座处因抗弯承载力不足而断裂。

(2) 雨篷梁受弯、受扭破坏。

(3) 整个雨篷的倾覆破坏。

为了防止雨篷发生上述形式的破坏，雨篷的计算应包括雨篷板设计、雨篷梁设计和雨篷的抗倾覆验算三部分。

2. 构造要求

(1) 一般雨篷板的挑出长度为 0.6 ～ 1.2 m 或更大，视建筑要求而定。

(2) 雨篷的根部厚度一般取 (1/12 ～ 1/10) l (l 为雨篷板的挑出长度)，但不小于 70 mm，板端不小于 50 mm。

(3) 雨篷梁的高度一般取 (1/15 ～ 1/12) l (l 为雨篷梁的计算跨度)，梁宽等于墙宽。

(4) 雨篷板受力筋由计算求得，但不得小于 ϕ6@200(A_s=141 mm^2)，分布筋不少于 ϕ6@250。

模块小结

(1) 楼盖结构包括现浇单向板肋形楼盖、双向板肋形楼盖、井式楼盖、无梁楼盖、装配式楼盖等，根据不同的建筑要求和使用条件选择合适的结构类型。

(2) 现浇肋形楼盖中，当板的长边与短边之比小于或等于 2 时，板在荷载作用下，沿两个正交方向受力且都不可忽略，称为双向板。双向板需分别按计算确定长边与短边方向的内力及配筋。

(3) 装配式混凝土楼盖主要由搁置在承重墙或梁上的预制混凝土铺板组成，故又称为装配式铺板楼盖。

(4) 现浇钢筋混凝土楼梯按受力方式的不同分为梁式楼梯和板式楼梯。梁式楼梯和板式楼梯的主要区别，在于楼梯梯段是采用梁承重还是板承重。前者受力较合理，用材较省，但施工较烦琐且欠美观，宜用于梯段较长的楼梯；后者反之。

(5) 雨篷、阳台等悬臂结构，除控制截面承载力计算外，尚应做整体抗倾覆的验算。工程事故表明，不宜采用悬挑板式阳台，而应采用悬挑梁式阳台，以确保安全。

习　题

1. 填空题

(1) 整体现浇式楼盖结构按楼板受力和支承条件的不同，分为 ________、________、________ 和 ________。

(2) 单向板肋梁楼盖中主梁沿横向布置的优点是 ____________________。

(3) 按结构形式的不同，最常见的现浇楼梯可分为 ________ 和 ________。

(4) 雨篷的破坏形式有 ________、________ 和 ________。

(5) 梁式楼梯由 ________、________、________ 和 ________ 组成。

2. 选择题

(1) 若板区格的长边为 l_2，短边为 l_1，则当 (　　) 时称为双向板。

A．$l_2/l_1 \geqslant 1$　　B．$l_2/l_1 \geqslant 2$　　C．$l_2/l_1<2$　　D．$l_2/l_1 \leqslant 2$

(2) 钢筋混凝土连续梁的中间支座处，当配置好足够的箍筋后，若配置的弯起钢筋不能满足要求时，应增设 (　　) 来抵抗剪力。

A．纵筋　　B．鸭筋　　C．浮筋　　D．架立钢筋

(3) 板式楼梯的组成不包括 (　　)。

A．梯段板　　B．斜梁　　C．平台板　　D．平台梁

(4) 连续板中，对于支撑支座负弯矩的钢筋，若 $q/g \leqslant 3$ 时，可在距支座(　　)处截断。

A．$l_n/5$　　B．$l_n/4$　　C．$l_n/3$　　D．$l_n/2$

(5) 次梁伸入墙体的支撑长度一般不应小于(　　)。

A．120 mm　　B．240 mm　　C．370 mm　　D．没要求

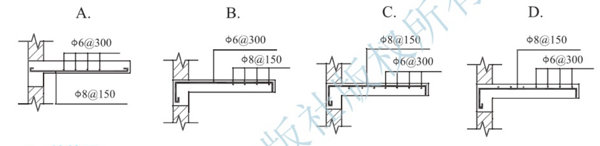
(6) 连续板内的分布筋应布置在受力筋的(　　)。

A．上侧　　B．下侧　　C．外侧　　D．内侧

(7) 为避免板式楼梯的斜板在支座处产生裂缝，应在板上面配置一定量的钢筋，其长度为(　　)。

A．$l_n/5$　　B．$l_n/4$　　C．$l_n/3$　　D．$l_n/2$

(8) 下列雨篷板配筋图正确的一项是(　　)。



3. 简答题

(1) 钢筋混凝土楼盖结构有哪几种主要类型？分别说出它们各自的优缺点和适用范围。

(2) 单向板和双向板的受力特点如何？

(3) 现浇单向板肋形楼盖板、次梁和主梁的配筋构造要求有哪些？

(4) 现浇单向板中的构造钢筋都有哪些？各自的作用是什么？

(5) 梁式和板式楼梯有何区别？各适用于哪些情况？

(6) 雨篷梁和雨篷板有哪些构造要求？



模块9 砌体结构

教学目标

了解砌体结构的砌体材料、砌体的种类及力学性能，了解混合结构房屋的结构布置方案，熟悉砌体结构的构造要求以及多层砖砌体房屋的抗震构造措施。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
能在工程实际中正确使用砌体材料和分辨出砌体结构破坏的形式	砌体材料、砌体种类及力学性能	30%
能辨别承重墙体平面布置方案	结构布置方案	10%
正确了解砌体房屋的构造要求，并会在工程实际中应用	砌体结构的构造要求	30%
	多层砖砌体房屋的抗震构造措施	30%

学习重点

砌体材料、砌体力学性能、结构布置方案、砌体结构的构造要求、多层砖砌体房屋的抗震构造措施。

引例

1. 工程与事故概况

某学校的教学楼，二层砖混结构，工程已接近完工，在室内进行抹灰粉刷时突然倒塌，造成多人死亡。该建筑的平面、立面、剖面及主要尺寸如图 9.1 所示。

教学楼为二层砖混结构，基础为水泥砂浆砌筑的毛石基础，墙厚 180 mm，端部大教室中间深梁为现浇钢筋混凝土梁。三个月后拆除大梁底部支承及模板，开始装修发现墙体有较大变形，工人用锤子将凸出墙体打了回去，继续施工。第三天发现大教室的窗墙在窗台下约 100 mm 处有一条很宽的水平裂缝，宽约 20 mm，导致整个房屋全部倒塌，两层楼板叠压在一起。未及时撤离的工人全部死亡。

2. 事故原因分析

本工程并无正式设计图纸，只是由使用单位直接委托某施工单位建造。根据现场情况，参照一般砖混结构草草画了几张草图就进行施工。施工队伍由乡村瓦木匠组成，没有技术管理体制。事故发生后测定，砖的等级为 MU0.5，砂浆强度只有 M0.4，在拆模的第二天发现险情后并未采取应急措施，才导致重大事故的发生。

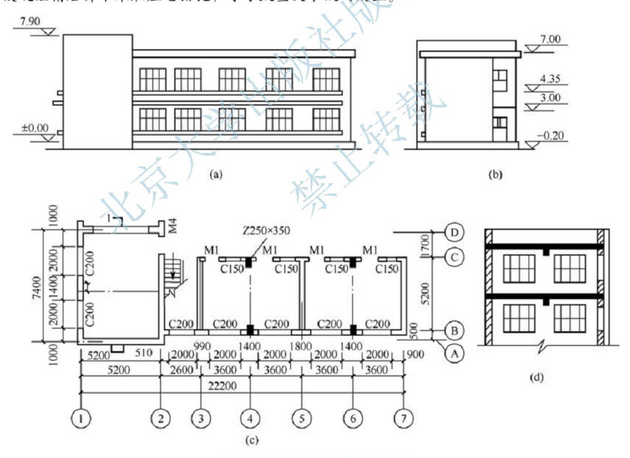


图 9.1　某学校教学楼尺寸图

(a) 南立面图；(b) 东立面图；(c) 平面图；(d) 1—1 剖面图

9.1 砌体材料


【常见砌体材料】

砌体是由块材和砌筑砂浆构成的，对块材和砂浆性能的进一步了解，将有助于理解和掌握各类砌体的性能。

9.1.1 块材

1. 砖

砌体结构常用的砖有烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土普通砖、混凝土多孔砖等。

烧结普通砖及烧结多孔砖是以页岩、煤矸石、粉煤灰或黏土为主要原料，经焙烧而成的。普通砖和蒸压砖的尺寸为 240 mm × 115 mm × 53 mm[图 9.2(a)]。多孔砖的主要规格有 190 mm × 190 mm × 90 mm、240 mm × 115 mm × 90 mm[图 9.2(b)、(c)] 等。

烧结普通砖、烧结多孔砖的强度等级有 MU30、MU25、MU20、MU15 和 MU10；蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖的强度等级有 MU25、MU20 和 MU15；混凝土普通砖、混凝土多孔砖的强度等级有 MU30、MU25、MU20 和 MU15；自承重墙空心砖的强度等级有 MU10、MU7.5、MU5 和 MU3.5。

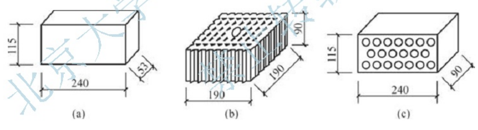


图 9.2 砖的主要规格

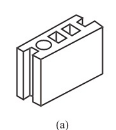
2. 砌块

砌块包括普通混凝土砌块和轻集料混凝土砌块。轻集料混凝土砌块包括煤矸石混凝土砌块和孔洞率不大于 35% 的火山渣、浮石和陶粒混凝土砌块。砌块按尺寸大小可分为小型、中型和大型三种，我国通常把砌块高度为 180 ～ 350 mm 的称为小型砌块，高度为 360 ～ 900 mm 的称为中型砌块，高度大于 900 mm 的称为大型砌块 (图 9.3)。

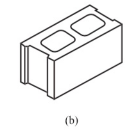
普通混凝土砌块的强度等级有 MU20、MU15、MU10、MU7.5 和 MU5。

3. 石材

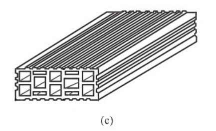
天然石材分为料石和毛石两种。料石按其加工后外形的规则程度又分为细料石、半细料石、粗料石和毛料石。石材的强度等级分为 MU100、MU80、MU60、MU50、MU40、MU30 和 MU20 七级。



(a)



(b)



(c)

图 9.3　砌块材料

(a) 混凝土中型空心砌块；(b) 混凝土小型空心砌块；(c) 烧结空心砌块

9.1.2 砌筑砂浆

砂浆是由胶凝材料（石灰、水泥）和细骨料（砂）加水搅拌而成的混合材料。

砂浆的作用是将砌体中的单个块体连成整体，并抹平块体表面，从而促使其表面均匀受力，同时填满块体间的缝隙，减少砌体的透气性。

1. 砂浆的分类

砂浆有水泥砂浆、混合砂浆、非水泥砂浆和砌块专用砌筑砂浆四种类型。

(1) 水泥砂浆是由水泥、砂子和水搅拌而成，其强度高，耐久性好，但和易性差，一般用于砌筑潮湿环境中的砌体（如基础等）。

(2) 混合砂浆是在水泥砂浆中掺入适量的塑化剂，如水泥石灰砂浆、水泥黏土砂浆等。这种砂浆具有一定的强度和耐久性，且和易性较好，是一般墙体中常用的砂浆类型。

(3) 非水泥砂浆有石灰砂浆、黏土砂浆和石膏砂浆等。这类砂浆强度不高，有些耐久性也不够好，故只能用在受力小的砌体或简易建筑、临时性建筑中。

(4) 砌块专用砌筑砂浆由水泥、砂、水以及根据需要掺入的掺合料和外加剂等组分，按一定比例，采用机械拌和制成，专门用于砌筑混凝土砌块的砌筑砂浆。

2. 砂浆的强度等级

砂浆的强度等级是根据边长为70.7 mm的立方体标准试块在标准条件下(温度为20℃±2℃，相对湿度为90%以上)，养护28d，测得的立方体抗压强度来确定。试验时应采取同类块体为砂浆强度试块底模。

烧结普通砖、烧结多孔砖、蒸压灰砂普通砖和蒸压粉煤灰普通砖砌体采用的普通砂浆强度等级为 M15、M10、M7.5、M5 和 M2.5；蒸压灰砂普通砖和蒸压粉煤灰普通砖砌体采用的专用砌筑砂浆强度等级为 Ms15、Ms10、Ms7.5 和 Ms5；混凝土普通砖、混凝土多孔砖采用的砂浆强度等级为 Mb20、Mb15、Mb10、Mb7.5 和 Mb5；毛料石、毛石砌体采用的砂浆强度等级为 M7.5、M5 和 M2.5。

3. 砂浆的性能要求

为满足工程质量和施工要求，砂浆除应具有足够的强度外，还应有较好的和易性和保水性。流动性好，则便于砌筑、保证砌筑质量和提高施工工效；保水性好，则不致在存放、运输过程中出现明显的泌水、分层和离析，以保证砌筑质量。水泥砂浆的流动性和保水性不如混合砂浆好，在砌筑墙体、柱时，除有防水要求外，一般采用混合砂浆。

9.2 砌体的种类及力学性能

9.2.1 砌体的种类

砌体按照所用材料不同可分为砖砌体、砌块砌体及石砌体，按砌体中有无配筋可分为无筋砌体与配筋砌体，按在结构中所起的作用不同可分为承重砌体与自承重砌体等。

1. 砖砌体

由砖和砂浆砌筑而成的整体材料称为砖砌体。在房屋建筑中，砖砌体常用作一般单层和多层工业与民用建筑的内外墙、柱、基础等承重结构以及多高层建筑的围护墙与隔墙等自承重结构等。标准砌筑的实心墙体厚度常为 240 mm(一砖)、370 mm(一砖半)、490 mm(二砖)、620 mm(二砖半)、740 mm(三砖) 等。

2. 砌块砌体

由砌块和砂浆砌筑而成的整体材料称为砌块砌体，常用的砌块砌体有普通混凝土砌块砌体和轻集料混凝土砌块砌体。砌块砌体主要用作住宅、办公楼及学校等民用建筑以及一般工业建筑的承重墙或围护墙。

3. 石砌体

由石材和砂浆 (或混凝土) 砌筑而成的整体材料称为石砌体，常用的石砌体有料石砌体、毛石砌体和毛石混凝土砌体等。石砌体中的石材资源分布广，蕴藏量丰富，便于就地取材，生产成本低，故古今中外在修建城垣、桥梁、房屋、道路和水利等工程中多有应用。

4. 配筋砌体

为提高砌体强度、减少其截面尺寸、增加砌体结构 (或构件) 的整体性，可在砌体中配置钢筋或钢筋混凝土，即采用配筋砌体。配筋砌体可分为配筋砖砌体 (图 9.4) 和配筋砌块砌体 (图 9.5)。

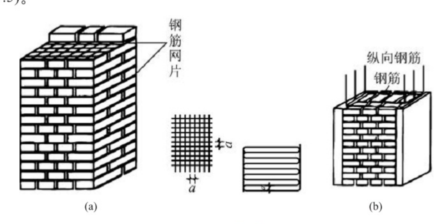


图 9.4 配筋砖砌体

(a) 网状配筋砖砌体；(b) 组合砖砌体

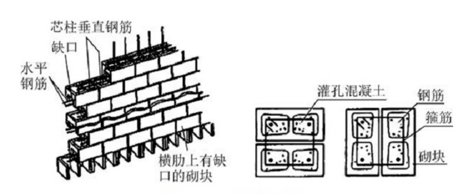


图 9.5　配筋砌块砌体

9.2.2 砌体的力学性能

1. 砌体的受压性能

砌体的受压破坏特征试验研究表明，砌体轴心受压从加载直到破坏，按照裂缝的出现、发展和最终破坏，大致经历以下三个阶段。

第一阶段：从砌体开始受压到单个块材开裂，这时荷载约为破坏荷载的 0.5 ～ 0.7 倍。其特点是：荷载如不增加，裂缝也不会继续扩展或增加 [图 9.6(a)]。

第二阶段：随着荷载的增加，原有裂缝不断扩展，形成穿过几皮块材的连续裂缝 (条缝)，同时产生新的裂缝，这时荷载约为破坏荷载的 0.8 ～ 0.9 倍。其特点是：即使荷载不增加，裂缝仍会继续发展 [图 9.6(b)]。

第三阶段：继续增加荷载，砌体中的裂缝将迅速开展，其中几条连续的竖向裂缝把砌体分割成若干小柱，砌体表面产生明显的外凸而处于松散状态，砌体丧失承载能力 [图 9.6(c)]。

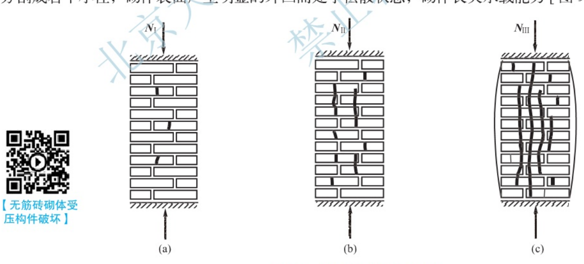


图 9.6　砖砌体的受压破坏

(a) 第一阶段；(b) 第二阶段；(c) 第三阶段

2. 影响砌体抗压强度的因素

通过对砖砌体在轴心受压时的受力分析及试验结果表明，影响砌体抗压强度的主要因素如下。

1) 块体与砂浆的强度等级

块体与砂浆的强度等级是确定砌体强度最主要的因素。一般来说，块体、砂浆的强度等级越高，砌体的抗压强度就越高。

2) 块体的尺寸与形状

块体的尺寸、几何形状及表面的平整程度对砌体的抗压强度也有较大的影响。增加块体厚度可提高砌体的抗压强度；块体形状规则、表面平整会使砌体的抗压强度相对提高。

3) 砂浆的和易性和保水性

砂浆的和易性和保水性越好，则砂浆越容易铺砌均匀，灰缝就越饱满，块体受力就越均匀，则砌体的抗压强度也就相应越高。例如，用和易性较差的水泥砂浆砌筑的砌体，要比同一强度等级的混合砂浆砌筑的砌体的抗压强度低。

4) 砌筑质量

砌筑质量是指砌体的砌筑方式、灰缝砂浆的饱满度、砂浆层的铺砌厚度等。砌筑质量与工人的技术水平有关，砌筑质量不同，则砌体强度不同。

9.3 混合结构房屋的结构布置方案

楼盖和屋盖用钢筋混凝土结构，而墙体及基础采用砌体结构建造的房屋通常称为混合结构房屋，它广泛用于各种小型工业与民用建筑中，如住宅、办公楼、商店、学校、仓库等。混合结构房屋具有构造简单、施工方便、工程总造价低等特点。

多层混合结构房屋的主要承重结构为屋盖、楼盖、墙体 (柱) 和基础，其中墙体的布置是整个房屋结构布置的重要环节。房屋的结构布置可分为三种方案：横墙承重体系、纵墙承重体系、纵横墙承重体系。

9.3.1 横墙承重体系

屋面板及楼板沿房屋的纵向放置在横墙上，形成了纵墙起围护作用、横墙起承重作用的结构方案 [图 9.7(a)]。其竖向荷载主要传递路线是：板→横墙→基础→地基。横墙承重体系的特点如下。

(1) 横墙是主要承重墙。此种体系对纵墙上门窗位置、大小等的限制较少。

(2) 横墙间距很小 (一般在 2.7 ～ 4.5 m 之间)，房屋的空间刚度大，整体性好。

(3) 横墙承重体系房屋的楼盖 (或屋盖) 结构比较简单，施工方便，材料用量较少；但墙体的材料用量较多。

横墙承重体系适用于宿舍、住宅等居住建筑。



9.3.2 纵墙承重体系

楼板铺设在大梁上，大梁则支承在纵墙上，楼 (屋) 盖荷载大部分由纵墙承受的结构方案，如图 9.7(b) 所示。其竖向荷载主要传递路线是：板→纵墙→基础→地基；板→梁→纵墙→基础→地基。纵墙承重体系的特点如下。

(1) 纵墙是房屋的主要承重墙，横墙的间距可以相当大。这种体系室内空间较大，有利于使用上灵活隔断和布置。

(2) 由于纵墙承受的荷载较大，因此纵墙上门窗的位置和大小会受到一定限制。

(3) 纵墙承重体系楼盖 (屋盖) 的材料用量较多，而墙体材料用量较少。

纵墙承重体系适用于使用上要求有较大室内空间的房屋，如教学楼、办公楼、图书馆、实验楼、食堂、中小型工业厂房等。

9.3.3 纵横墙承重体系

楼板一部分搁置在横墙上，另一部分搁置在大梁上，而大梁搁置在纵墙上，纵墙和横墙均为承重墙的结构方案 [图 9.7(c)]。其竖向荷载主要传递路线是：板→横墙→横墙基础→地基；板→大梁→纵墙→纵墙基础→地基。

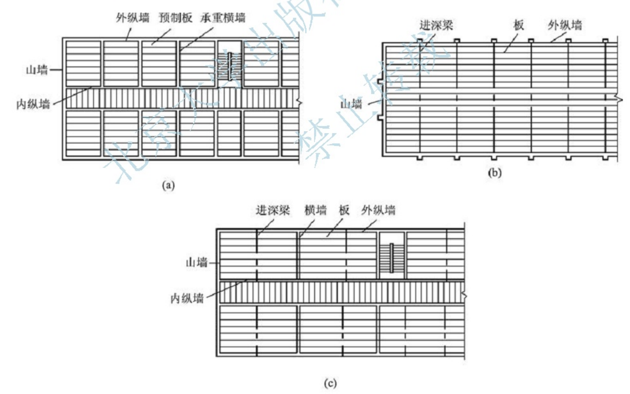


图 9.7　混合结构房屋结构布置方案

(a) 横墙承重体系；(b) 纵墙承重体系；(c) 纵横墙承重体系

纵横墙承重体系有以下特点。

(1) 结构布置合理性，房间布置灵活。

(2) 具有较大的空间刚度和整体性，纵横两个方向的空间刚度均比较好。纵横墙承重

体系方案一般适用于教学楼、办公楼、多层住宅等。

应用案例9-1

如图 9.8 所示，Ⓐ～Ⓑ轴线间楼板横向布置，楼面荷载传给横墙和梁 L2，L2 又将荷载传给纵墙；Ⓑ～Ⓒ轴线间楼板纵向布置，楼面荷载传给内纵墙；Ⓒ～Ⓓ轴线间楼板横向布置，楼面荷载传给横墙和 L1，L1 又将荷载传给纵墙。因此，该办公楼为纵横墙承重体系。

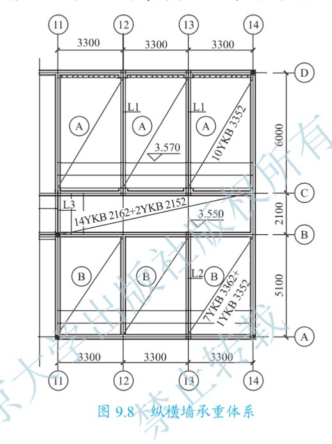


图 9.8 纵横墙承重体系

9.4 砌体结构的构造要求

为了保证砌体房屋的耐久性和整体性，砌体结构和结构构件在设计使用年限内 (通常按 50 年考虑) 和正常维护下，必须满足砌体结构正常使用极限状态的要求，一般可由相应的构造措施来保证。

9.4.1 一般构造要求

1. 墙、柱的最小截面尺寸

墙、柱的截面尺寸过小，不仅稳定性差而且局部缺陷影响承载力。对承重的独立砖柱截面尺寸不应小于 240 mm × 370 mm，毛石墙的厚度不宜小于 350 mm，毛料石柱较小边长不宜小于 400 mm。当有振动荷载时，墙、柱不宜采用毛石砌体。



2. 房屋整体性的构造要求

(1) 跨度大于 6 m 的屋架和跨度大于下列数值的梁：砖砌体为 4.8 m；砌块和料石砌体为 4.2 m；毛石砌体为 3.9 m，应在支承处砌体上设置混凝土或钢筋混凝土垫块；当墙中设有圈梁时，垫块与圈梁宜浇成整体。

(2) 当梁跨度大于或等于下列数值时，其支承处宜加设壁柱，或采取其他加强措施：240 mm 厚的砖墙为 6 m；180 mm 厚的砖墙为 4.8 m；砌块、料石墙为 4.8 m。

(3) 预制钢筋混凝土板在混凝土圈梁上的支承长度不应小于 80 mm，板端伸出的钢筋应与圈梁可靠连接，且同时浇筑；预制钢筋混凝土板在墙上的支承长度不应小于 100 mm。

(4) 支承在墙、柱上的吊车梁、屋架及跨度大于或等于下列数值的预制梁：砖砌体为 9 m；砌块和料石砌体为 7.2 m，其端部应采用锚固件与墙、柱上的垫块锚固。

(5) 墙体转角处和纵横墙交接处宜沿竖向每隔 400 ～ 500 mm 设拉结钢筋，其数量为每 120 mm 墙厚不少于 1 ϕ 6 或采用焊接钢筋网片，埋入长度从墙的转角或交接处算起，对实心砖墙每边不小于 500 mm，对多孔砖墙和砌块墙不小于 700 mm。

(6) 填充墙、隔墙应分别采取措施与周边主体结构构件可靠连接。如在钢筋混凝土骨架中预埋拉结钢筋，砌砖时将拉结筋嵌入墙体的水平缝内。

(7) 山墙处的壁柱或构造柱宜砌至山墙顶部，且屋面构件应与山墙可靠拉结。

3. 砌块砌体的构造要求

(1) 砌块砌体应分皮错缝搭砌，上下皮搭砌长度不应小于 90 mm。当搭砌长度不满足上述要求时，应在水平灰缝内设置不少于 2 ϕ 4 的焊接钢筋网片 (横向钢筋的间距不应大于 200 mm)，网片每端应伸出该垂直缝不小于 300 mm。

(2) 砌块墙与后砌隔墙交接处，应沿墙高每 400 mm 在水平灰缝内设置不少于 2 ϕ 4、横筋间距不大于 200 mm 的焊接钢筋网片 (图 9.9)。

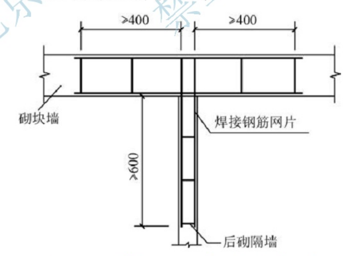


图 9.9　砌块墙与后砌隔墙交接处钢筋网片

(3) 混凝土砌块房屋，宜将纵横墙交接处，距墙中心线每边不小于 300 mm 范围内的孔洞，采用不低于 Cb20 的混凝土沿全墙高灌实。

9.4.2 防止或减轻墙体开裂的主要措施

1. 伸缩缝的设置

在正常使用条件下，应在墙体中设置伸缩缝。伸缩缝应设在因温度和收缩变形可能引起应力集中、砌体产生裂缝可能性最大的地方。

对烧结普通砖、烧结多孔砖、配筋砌块砌体房屋伸缩缝的间距可取表 9-1 中的数值；对石砌体、蒸压灰砂普通砖、蒸压粉煤灰普通砖、混凝土砌块、混凝土普通砖和混凝土多孔砖房屋取表 9-1 中数值乘以 0.8 的系数。

表 9-1 砌体房屋伸缩缝的最大间距 单位：m

屋盖或楼盖类别		间距
整体式或装配整体式钢筋混凝土结构	有保温层或隔热层的屋盖、楼盖	50
	无保温层或隔热层的层盖	40
装配式无檩体系钢筋混凝土结构	有保温层或隔热层的屋盖、楼盖	60
	无保温层或隔热层的屋盖	50
装配式有檩体系钢筋混凝土结构	有保温层或隔热层的屋盖	75
	无保温层或隔热层的屋盖	60
瓦材屋盖、木屋盖或楼盖、轻钢屋盖		100

2. 房屋顶层墙体构造措施

为防止或减轻房屋顶层墙体的裂缝，房屋顶层墙体宜根据情况采取下列构造措施。

(1) 屋面应设置保温、隔热层。

(2) 屋面保温 (隔热) 层或屋面刚性面层及砂浆找平层应设置分隔缝，分隔缝间距不宜大于 6 m，其缝宽不小于 30 mm，并与女儿墙隔开。

(3) 顶层屋面板下设置现浇钢筋混凝土圈梁，并沿内外墙拉通，房屋两端圈梁下的墙体内宜设置水平钢筋。

(4) 顶层墙体有门窗等洞口时，在过梁上的水平灰缝内设置 2 ～ 3 道焊接钢筋网片或 2 ϕ 6 钢筋，焊接钢筋网片或钢筋应伸入洞口两端墙内不小于 600 mm。

(5) 顶层及女儿墙砂浆强度等级不低于 M7.5(Mb7.5、Ms7.5)。

(6) 女儿墙应设置构造柱，构造柱间距不宜大于 4 m，构造柱应伸至女儿墙顶并与现浇钢筋混凝土压顶整浇在一起。

3. 房屋底层墙体构造措施

为防止或减轻房屋底层墙体裂缝，房屋底层墙体宜根据情况采取下列措施。

(1) 增大基础圈梁的刚度。

(2) 在底层的窗台下墙体灰缝内设置 3 道焊接钢筋网片或 2 ϕ 6 钢筋，并应伸入两边窗间墙内不小于 600 mm。

9.5 过梁与挑梁

9.5.1 过梁

设置在门窗洞口上的梁称为过梁 (代号为 GL)。它用以支承门窗上面部分墙砌体的自重，以及距洞口上边缘高度不太大的梁板传下来的荷载，并将这些荷载传递到两边窗间墙上，以免压坏门窗。过梁的种类主要有砖砌过梁 (图 9.10) 和钢筋混凝土过梁 (图 9.11) 两大类。

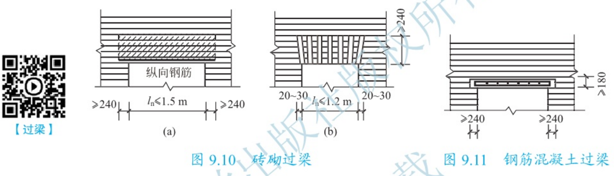


图 9.10 砖砌过梁

(a) 钢筋砖过梁；(b) 砖砌平拱过梁

图 9.11 钢筋混凝土过梁

1. 砖砌过梁

(1) 钢筋砖过梁。一般来讲，钢筋砖过梁的跨度不宜超过 1.5 m，砂浆强度等级不宜低于 M5。钢筋砖过梁的施工方法是：在过梁下皮设置支承和模板，然后在模板上铺一层厚度不小于 30 mm 的水泥砂浆层，在砂浆层里埋入钢筋。钢筋直径不应小于 5 mm，间距不宜大于 120 mm。钢筋每边伸入支座砌体内的长度不宜小于 240 mm。

(2) 砖砌平拱过梁。砖砌平拱过梁的跨度不宜超过 1.2 m，砂浆的强度等级不宜低于 M5。

2. 钢筋混凝土过梁

对于有较大振动或可能产生不均匀沉降的房屋，或当门窗宽度较大时，应采用钢筋混凝土过梁。钢筋混凝土过梁按受弯构件设计，其截面高度一般不小于 180 mm，截面宽度与墙体厚度相同，端部支承长度不应小于 240 mm。目前砌体结构已大量采用钢筋混凝土过梁。

特别提示

过梁上的荷载有两类：一是过梁上部墙体的重量，二是过梁上梁板传来的荷载。

9.5.2 挑梁

楼面及屋面结构中用来支承阳台板、外伸走廊板、檐口板的构件即为挑梁(代号为TL，图9.12)。挑梁是一种悬挑构件，它除了要进行抗倾覆验算外，还应按钢筋混凝土受弯、受剪构件分别计算挑梁的纵筋和箍筋。此外，还应满足下列要求。

(1) 纵向受力钢筋至少应有1/2的钢筋面积伸入梁尾端，且不少于2Φ12，其余钢筋伸入墙体的长度不应小于$\frac{2l_1}{3}$。

(2) 挑梁埋入砌体长度l_1与挑出长度l之比宜大于1.2；当挑梁上无砌体时，l_1与l之比宜大于2。

(3) 挑梁下的砌体受到较大的局部压力，应进行挑梁下砌体的局部受压承载力验算。

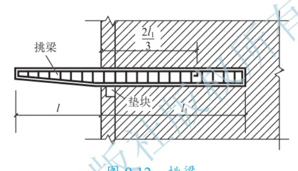




图9.12 挑梁



特别提示

挑梁属于受弯构件，根部弯矩和剪力最大。

9.6 多层砖砌体房屋抗震构造措施

震害分析表明，在多层砖砌体房屋中的适当部位设置钢筋混凝土构造柱，并与圈梁连接使之共同工作，可以增加房屋的延性，提高抗倒塌能力，防止或延缓房屋在地震作用下发生突然倒塌，或者减轻房屋的损坏程度。

9.6.1 构造柱的设置

各类多层砖砌体房屋，应按下列要求设置现浇钢筋混凝土构造柱。

1. 构造柱设置部位

构造柱设置部位，一般情况下应符合表9-2的要求。

表 9-2　砖房构造柱设置要求

<table>
<tr><th colspan="4">房屋层数</th><th colspan="2" rowspan="2">设置部位</th></tr>
<tr><th>6 度</th><th>7 度</th><th>8 度</th><th>9 度</th></tr>
<tr><td>四、五</td><td>三、四</td><td>二、三</td><td></td><td rowspan="3">楼、电梯间四角，楼梯斜段上下端对应的墙体处；外墙四角和对应转角；错层部位横墙与外纵墙交接处；大房间内外墙交接处；较大洞口两侧</td><td>隔 12m 或单元横墙与纵墙交接处；楼梯间对应的另一侧内横墙与外纵墙交接处</td></tr>
<tr><td>六</td><td>五</td><td>四</td><td>二</td><td>隔开间横墙 (轴线) 与外墙交接处；山墙与内纵墙交接处</td></tr>
<tr><td>七</td><td>六、七</td><td>五、六</td><td>三、四</td><td>内墙 (轴线) 与外墙交接处；内墙的局部较小墙垛处；内纵墙与横墙 (轴线) 交接处</td></tr>
</table>

2. 构造柱的截面尺寸及配筋

构造柱最小截面可采用 180 mm × 240 mm(当墙厚 190 mm 时为 180 mm × 190 mm)，纵向钢筋宜采用 4 Φ 12，箍筋间距不宜大于 250 mm，且在柱上下端宜适当加密；6、7 度超过 6 层、8 度超过 5 层和 9 度时，构造柱纵向钢筋宜采用 4 Φ 14，箍筋间距不应大于 200 mm；房屋四角的构造柱应适当加大截面及配筋。

3. 构造柱的连接

(1) 构造柱与墙连接处应砌成马牙槎 (图 9.13)，沿墙高每隔 500 mm 设 2 Φ 6 水平钢筋 (图 9.14) 和Φ 4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或Φ 4 点焊钢筋网片，每边伸入墙内不宜小于 1 m。6、7 度时，底部 1/3 楼层，8 度时底部 1/2 楼层，9 度时全部楼层，上述拉结钢筋网片应沿墙体水平通长布置。




【构造柱】

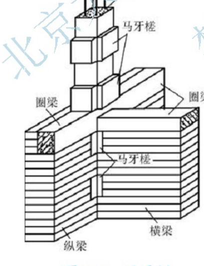


图 9.13　马牙槎

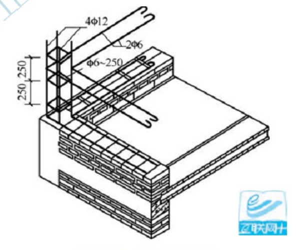


图 9.14　构造柱配筋

(2) 构造柱与圈梁连接处，构造柱的纵筋应在圈梁纵筋内侧穿过，保证构造柱纵筋上下贯通；构造柱可不单独设置基础，但应伸入室外地面下 500 mm，或与埋深小于 500 mm 的基础圈梁相连。



特别提示

(1) 框架柱与构造柱的区别：框架柱是承重构件，而构造柱不承重；框架柱中的钢筋需计算配置，而构造柱中的钢筋不需计算，仅按上述构造规定配置即可；框架柱下有基础，而构造柱不需设基础；框架柱施工时是先浇混凝土柱，后砌填充墙，而构造柱施工时是先砌墙后浇柱。

(2) 构造柱与墙体连接处宜砌成马牙槎，且应与圈梁连接。为了便于检查构造柱施工质量，构造柱宜有一面外露，施工时应先砌墙后浇柱。

应用案例9-2

某三层砌体房屋在遭受烈度9度的地震影响时震害严重，部分墙体及构造柱破坏严重，如图9.15所示。



(a) (b) (c)

图 9.15 某三层砌体房屋震害

图9.15(a)、(b)中的构造柱在纵筋搭接处破坏，此处箍筋没加密；图9.15(c)中的构造柱混凝土级配不良，含泥量偏高，施工振捣不密实等因素造成震害加剧。

9.6.2 圈梁的设置

设置钢筋混凝土圈梁是加强墙体的连接，提高楼（屋）盖刚度，抵抗地基不均匀沉降，限制墙体裂缝开展，保证房屋整体性，提高房屋抗震能力的有效构造措施。

1. 圈梁的设置部位

(1) 装配式钢筋混凝土楼、屋盖的砖房，应按表9-3的要求设置圈梁。

表 9-3 多层砖砌体房屋现浇钢筋混凝土圈梁设置要求

墙类	烈度		
	6、7度	8度	9度
外墙和内纵墙	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处
内横墙	屋盖处及每层楼盖处；屋盖处间距不应大于4.5 m；楼盖处间距不应大于7.2 m；构造柱对应部位	屋盖处及每层楼盖处；各层所有横墙，且间距不应大于4.5 m；构造柱对应部位	屋盖处及每层楼盖处；各层所有横墙



(2) 现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖与墙体有可靠连接的房屋，应允许不另设圈梁，但楼板沿抗震墙体周边均应加强配筋并应与相应的构造柱钢筋可靠连接。

2. 圈梁设置注意的问题

(1) 圈梁宜连续地设在同一水平面上，并形成封闭状；当圈梁被门窗洞口截断时，应在洞口上部增设相同截面的附加圈梁。附加圈梁与圈梁的搭接长度不应小于其中到中垂直间距的 2 倍，且不得小于 1 m(图 9.16)。

(2) 钢筋混凝土圈梁的宽度宜与墙厚相同，当墙厚≥ 240 mm 时，其宽度不宜小于 $2h/3$。

(3) 圈梁兼作过梁时，过梁部分的钢筋应按计算用量另行增配；不得利用圈梁的钢筋兼作过梁的钢筋。

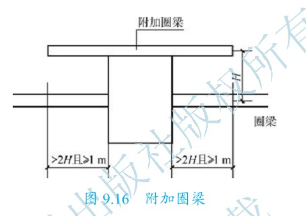


图 9.16　附加圈梁

3. 圈梁的截面尺寸及配筋

圈梁 (图 9.17) 的截面高度不应小于 120 mm，配筋应符合表 9-4 的要求。但在软弱黏性土层、液化土、新近填土或严重不均匀土层上的基础圈梁，截面高度不应小于 180 mm，配筋不应少于 4 ϕ 12(图 9.18)。

表 9-4　多层砖砌体房屋圈梁配筋要求

墙类	烈度		
	6、7 度	8 度	9 度
最小纵筋	4 ϕ 10	4 ϕ 12	4 ϕ 14
箍筋最大间距 /mm	250	200	150


【圈梁】

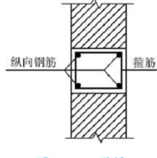


图 9.17　圈梁

图 9.18　地圈梁

4. 圈梁的构造

圈梁应闭合，遇有洞口时，圈梁应上下搭接。圈梁宜与预制板设在同一标高处或紧靠板底(图 9.19)。圈梁在表 9-3 要求的间距内无横墙时，应利用梁或板缝中配筋替代圈梁(图 9.20)。

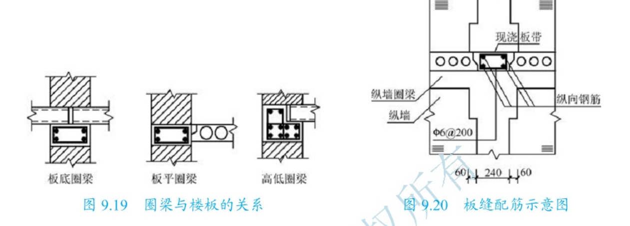


图 9.19　圈梁与楼板的关系　　　　图 9.20　板缝配筋示意图

9.6.3 楼、屋盖与墙体的连接构造

(1) 现浇钢筋混凝土楼板或屋面板伸进纵、横墙内的长度，均不应小于 120 mm。

(2) 装配式钢筋混凝土楼板或屋面板，当圈梁未设在板的同一标高时，板端伸进外墙的长度不应小于 120 mm，伸进内墙的长度不应小于 100 mm 或采用硬架支模连接，在梁上不应小于 80 mm 或采用硬架支模连接。

(3) 当板的跨度大于 4.8 m 并与外墙平行时，靠外墙的预制板侧边应与墙或圈梁拉结(图 9.21)。

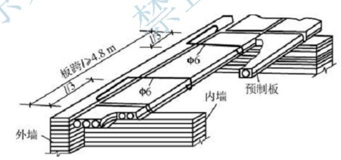


图 9.21　墙与预制板的拉结

(4) 房屋端部大房间的楼盖，6 度时房屋的屋盖和 7 ~ 9 度时房屋的楼、屋盖，当圈梁设在板底时，钢筋混凝土预制板应相互拉结，并应与梁、墙或圈梁拉结(图 9.22)。

(5) 6、7 度时长度大于 7.2 m 的大房间，以及 8、9 度时外墙转角及内外墙交接处，应沿墙高每隔 500 mm 配置 2ϕ6 通长钢筋和ϕ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或ϕ4 点焊网片。

(6) 预制阳台，6、7 度时应与圈梁和楼板的现浇板带可靠连接，8、9 度时不应采用预制阳台。

(7) 门窗洞处不应采用砖过梁；过梁支承长度，6 ~ 8 度时应不小于 240 mm，9 度时



应不小于 360 mm。

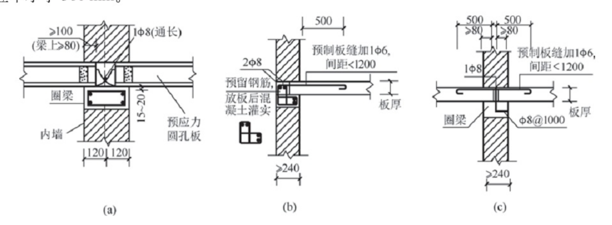


图 9.22　预制板板缝间、板与圈梁的拉结

9.6.4 楼梯间的抗震构造

(1) 顶层楼梯间墙体应沿墙高每隔 500 mm 设置 2ϕ6 通长钢筋和ϕ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或ϕ4 点焊网片；7 ~ 9 度时其他各层楼梯间墙体应在休息平台或楼层半高处设置 60 mm 厚、纵向钢筋不应少于 2ϕ10 的钢筋混凝土带或配筋砖带，配筋砖带不少于 3 皮，每皮的配筋不少于 2ϕ6，砂浆强度等级不应低于 M7.5 且不低于同层墙体的砂浆强度等级。

(2) 楼梯间及门厅内墙阳角处的大梁支承长度不应小于 500 mm，并应与圈梁连接。

(3) 装配式楼梯段应与平台板的梁可靠连接，8、9 度时不应采用装配式楼梯段；不应采用墙中悬挑式踏步或踏步竖肋插入墙体的楼梯，不应采用无筋砖砌栏板。

(4) 突出屋顶的楼、电梯间，构造柱应伸到顶部，并与顶部圈梁连接，所有墙体应沿墙高每隔 500 mm 设 2ϕ6 通长钢筋和ϕ4 分布短筋平面内点焊组成的拉结网片或ϕ4 点焊网片。

模块小结

本模块主要介绍了砌体材料，砌体种类及力学性能，混合结构房屋的结构布置方案，砌体结构的构造要求以及多层砖砌体房屋抗震构造措施等内容。通过对砌体材料的介绍，将有助于理解和掌握各类砌体的性能。

混合结构房屋是用砌体作竖向承重构件和用钢筋混凝土作屋(楼)盖所组成的房屋承重结构体系。主要承重结构为屋盖、楼盖、墙体(柱)和基础，其中墙体的布置是整个房屋结构布置的重要环节。

房屋的结构布置可分为以下三种方案。

(1)横墙承重体系，其竖向荷载主要传递路线是：板→横墙→基础→地基。由于横墙的数量较多且间距小，同时横墙与纵墙间有可靠的拉结，因此，房屋的整体性好，空间刚度大，对抵抗作用在房屋上的风荷载及地震力等水平荷载十分有利。

(2) 纵墙承重体系，其竖向荷载主要传递路线是：板→纵墙→基础→地基；板→梁→纵墙→基础→地基。

(3) 纵横墙承重体系，其竖向荷载主要传递路线是：板→横墙→横墙基础→地基；板→大梁→纵墙→纵墙基础→地基，纵、横两个方向的空间刚度均比较好。

砌体结构的构造要求包括一般构造要求，如砌体材料的最低强度、墙柱的最小尺寸要求、房屋整体性的构造要求、砌块砌体的构造要求，还包括防止或减轻墙体开裂的主要措施，如伸缩缝的设置等。

过梁的种类包括砖砌过梁和钢筋混凝土过梁两大类，砖砌过梁又分为钢筋砖过梁、砖砌平拱过梁，目前砌体结构大量采用钢筋混凝土过梁。

熟悉多层砖砌体房屋抗震构造措施，如构造柱、圈梁的设置原则、构造要求以及楼、屋盖与墙体的连接构造措施等。

习　题

1. 填空题

(1) 烧结普通砖、烧结多孔砖的强度等级有：________、________、________、________和________。

(2) 砂浆分为________、________、________和________四种类型。

(3) 砌体按照所用材料不同可分为________、________及________三种。

(4) 混合房屋的结构布置方案可分为________、________、________三种。

(5) 墙、柱的截面尺寸不宜过小，对承重的独立砖柱截面尺寸不应小于________，毛石墙的厚度不宜小于________，毛料石柱较小边长不宜小于________。

(6) 砌块砌体应分皮错缝搭砌，上下皮搭砌长度不得小于________。

(7) 过梁的种类主要有________和________两大类。

2. 选择题

(1) (　　) 强度高，耐久性好，但和易性差，一般用于砌筑潮湿环境中的砌体。

A．混合砂浆　　B．石灰砂浆　　C．黏土砂浆　　D．水泥砂浆

(2) 横墙间距很小，房屋的空间刚度大，整体性好，能较好地抵抗风荷载、地震等水平作用，是 (　　) 结构布置方案的特点。

A．纵墙承重体系　　B．横墙承重体系

C．纵横墙承重体系　　D．框架承重体系

(3) 为防止或减轻房屋顶层墙体的裂缝，顶层及女儿墙砂浆强度等级不低于 (　　)。

A. M7.5　　B. M5　　C. M10　　D. M2.5

(4) 多层砖砌体房屋构造柱最小截面可采用 (　　)。

A. 240 mm × 240 mm　　B. 180 mm × 240 mm

C. 180 mm × 180 mm　　D. 200 mm × 240 mm

3. 简答题

(1) 砌体结构中砂浆的作用是什么？

(2) 轴心受压砌体的破坏特征有哪些？

(3) 影响砌体抗压强度的因素有哪些？

(4) 横墙承重体系的特点有哪些？

(5) 为防止或减轻房屋底层墙体裂缝，应采取哪些措施？

(6) 多层砖砌体房屋的圈梁设置应注意的问题有哪些？



模块10 多高层房屋结构概述

教学目标

本模块主要介绍多高层建筑结构形式与结构体系，以及框架结构、剪力墙结构及框架－剪力墙的受力特点、配筋构造规定。通过学习，应了解多高层建筑结构的常用结构体系的类型、特点和适用高度，多高层建筑结构布置的重要性及原则；掌握框架结构、剪力墙结构及框架－剪力墙的配筋构造规定。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
了解多高层房屋常见结构体系	多高层建筑结构常见结构体系	30%
了解多高层建筑结构总体布置原则	多高层建筑结构总体布置原则	25%
掌握常见结构体系配筋构造规定	常见结构体系配筋构造规定	45%

学习重点

多高层建筑结构体系的类型特点，框架结构、剪力墙结构及框架－剪力墙结构的配筋构造。



引例

中国台北的101大厦楼高508 m，101层，有世界最大且最重的“风阻尼器”。101层塔楼的结构体系以井字形的巨型构架为主，巨型构架在每8层楼设置一或二层楼高之巨型桁架梁，并与巨型外柱及核心斜撑构架组成近似11层楼高的巨型结构。柱位规划可简单归纳为内柱与外柱，服务核心内共有16支箱形内柱，箱形内柱由4片钢板经由电焊组合而成，中低层部分以内灌混凝土增加劲度和强度；外柱则随着楼层高度而有不同的配置，在26层以下均为与帷幕平行的斜柱，其两侧各配置两支巨柱及两支次巨柱，其中巨柱及次巨柱皆为内灌混凝土之长方形钢柱，另外每层配置4支两斜角柱，角柱为内灌混凝土的方形钢柱。

大家知道的知名的多高层建筑有哪些？它们有什么建筑特色？各采用什么样的结构体系？

10.1 多高层房屋结构的类型

随着社会生产力和现代科学技术的发展，在一定条件下出现了高层建筑。从20世纪90年代到21世纪初，我国高层建筑有了很大的发展，一批现代高层建筑以全新的面貌呈现在人们面前。由于高层建筑具有占地面积小、节约市政工程费用、节省拆迁费、改变城市面貌等优点，为了改善城市居民的居住条件，在大城市和某些中等城市中，多高层住宅发展十分迅速，主要用于住宅、旅馆以及办公楼等建筑。

关于多层与高层建筑的界限，各国有不同的标准。我国对高层建筑的规定如下：《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(以下简称《高规》)、《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005)和《高层民用建筑设计防火规范》(2005年版)(GB 50045—1995)均以10层及10层以上或房屋高度大于28 m的住宅建筑以及房屋高度大于24 m的其他高层民用建筑为高层建筑。目前，多层房屋多采用混合结构和钢筋混凝土结构，高层房屋常采用钢筋混凝土结构、钢结构、钢－混凝土混合结构。

多高层建筑是随着社会生产的发展和人们生活的需要而发展起来的，是商业化、工业化和城市化的结果。位于马来西亚吉隆坡市中心区的佩重纳斯大厦，俗称“双子塔”，楼高452 m，共88层，在第40层和41层之间有一座天桥，方便楼与楼之间来往，这幢外形独特的银色尖塔式建筑，号称世界最高的双峰塔，如图10.1(a)所示；位于美国伊利诺伊州芝加哥的西尔斯大厦，楼高443 m，110层，一度是世界上最高的办公楼，如图10.1(b)所示；位于中国上海浦东陆家嘴金融贸易区的金茂大厦，工程占地面积2.3万平方米，建筑总面积约29万平方米，由塔楼、裙房和地下室三部分组成，其中地下室3层(最深19.6 m)，塔楼地上88层，总高度为420.5 m，如图10.1(c)所示；位于中国台北的101大厦，楼高508 m，101层，如图10.1(d)所示。



【超级工程——上海中心大厦】

图 10.1 世界著名高层建筑

(a) 马来西亚佩重纳斯大厦；(b) 美国西尔斯大厦；(c) 上海金茂大厦；(d) 中国台北 101 大厦

10.1.1 多高层建筑结构类型

在多高层建筑结构中，风荷载和水平地震作用所产生的侧向力成为其主要控制作用，因此多高层建筑结构设计的关键问题就是应设置合理形式的抗侧力构件及有效的抗侧力结构体系，使结构具有相应的刚度来抵抗侧向力。多高层建筑结构中基本的抗侧力单元是：框架、剪力墙、井筒、框筒及支承。



在确定高层建筑结构体系时应遵循以下原则。

(1) 应具有明确的计算简图和合理的水平地震作用传递途径。

(2) 宜具有多道抗震防线，避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构体系丧失抗震能力。

(3) 应具有必要的强度和刚度、良好的变形能力和能量吸收能力，结构体系的抗震能力表现在强度、刚度和延性恰当的匹配。

(4) 具有合理的刚度和强度分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中。

(5) 宜选用有利于抗风作用的高层建筑体型，即选用风压较小的建筑体型形状。

(6) 高层建筑的开间、进深尺寸和选用的构件类型应减少规格，符合建筑模数。高层建筑的建筑平面宜选用风压较小的形状，并考虑邻近建筑对其风压分布的影响。

(7) 高层建筑结构的平面布置宜简单、规则、对称，减少偏心，平面长度 L 及结构平面外伸部分长度 l 均不宜过长；竖向体型应力求规则、均匀，避免有过大的外挑和内收使竖向刚度突变以致在一些楼层形成变形集中而最终导致严重的震害。

10.1.2 多高层建筑常见的结构类型

多高层建筑常见的结构类型有以下几种。

1. 混合结构

混合结构是用不同的材料做成的构件组成的房屋，通常是指承重的主要构件，是用钢筋混凝土和砖木建造的。如一幢房屋的梁用钢筋混凝土制成，以砖墙为承重墙，或者梁用木材建造，柱用钢筋混凝土建造。

2. 框架结构

由梁和柱为主要承重构件组成的承受竖向和水平作用的结构称为框架结构，如图 10.2 所示。承重结构和围护、分隔构件完全分开，墙只起围护、分隔作用。广泛应用于多层工业厂房及多高层办公楼、医院、旅馆、教学楼、住宅等。

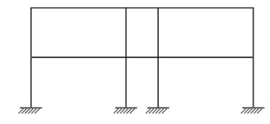


图 10.2　框架结构体系

框架结构的优点：建筑平面布置灵活，可以形成较大的空间，平、立面布置设计灵活多变，如图 10.3 所示。

框架结构的缺点：框架结构的抗侧刚度较小，水平位移大，从而限制了框架结构的使用高度。框架结构以建造 15 层以下为宜。

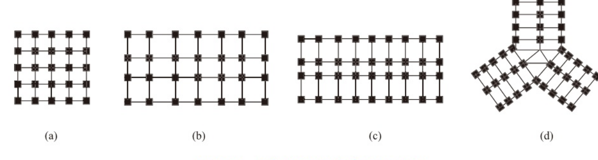


图 10.3 框架结构体系典型平面图

3. 剪力墙结构

利用建筑物的墙体作为竖向承重和抵抗侧力的结构称为剪力墙结构。剪力墙实质上是固结于基础的钢筋混凝土墙片，具有很高的抗侧移能力。因其既承担竖向荷载，又承担水平荷载——剪力，故名剪力墙。一般情况下，剪力墙结构楼盖内不设梁，楼板直接支承在墙上，墙体既是承重构件，又起围护、分隔作用，如图 10.4 所示。

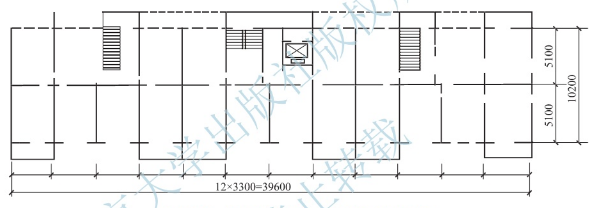


图 10.4 剪力墙结构——高层板式楼平面

剪力墙结构的优点：现浇钢筋混凝土剪力墙结构的整体性好、施工速度快、抗侧刚度大，在水平荷载下侧向变形小，承载力容易满足，适于建造较高的建筑，具有良好的抗震性能。

剪力墙结构的缺点：由于剪力墙间距较小，不能形成较大的空间，平面布置不灵活，不能满足公共建筑的使用要求，较适用于建造 12 ～ 30 层的高层住宅或高层公寓等。

4. 框架 – 剪力墙结构

在框架结构中的适当部位增设一定数量的钢筋混凝土剪力墙，形成的框架和剪力墙结合在一起共同承受竖向和水平力的体系叫做框架 – 剪力墙体系，简称框 – 剪体系。它使得框架和剪力墙这两种结构可互相取长补短，既能提供较大、较灵活布置的建筑空间，又具有良好的抗震性能，因此此种结构体系已得到广泛应用，如图 10.5 所示。

框架 – 剪力墙结构体系的优点：综合了框架结构和剪力墙结构的优点，其刚度和承载力比框架结构都大大提高，减小了结构在地震作用下的层间变形，使此种结构形式可用于较高 (10 ～ 20 层) 的高层建筑。

剪力墙的布置应注意对称、周边、均匀、分散及上下贯通、水平对齐的原则。

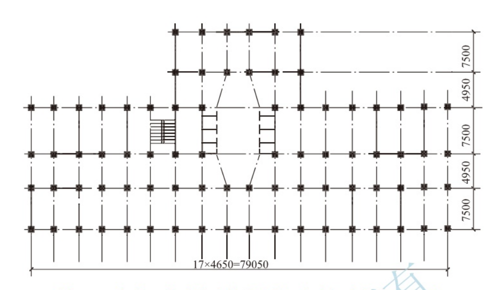


图 10.5　框架 – 剪力墙结构平面图（北京饭店新楼，18 层）

5. 筒体结构

由筒体为主组成的承受竖向和水平作用的结构称为筒体结构体系。筒体是由若干片剪力墙围合而成的封闭井筒式结构，其受力与一个固定于基础上的筒形悬臂构件相似。

根据开孔的多少，筒体有空腹筒和实腹筒之分，如图 10.6 所示。

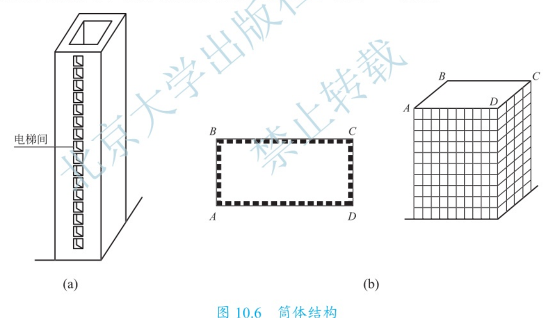


图 10.6　筒体结构

(a) 实腹筒；(b) 空腹筒

6. 新型结构体系

随着高层建筑的迅速发展，层数越来越高，结构体系越来越新颖，建筑造型越来越丰富多样，因此有限的结构体系已经不能适应新的要求。为了满足当今高层建筑的要求，必须要求设计者在材料和结构体系上不断地创新。

1) 建筑结构“轻型化”

目前我国高层建筑采用的普通钢筋混凝土材料总的来讲自重偏大，因此减轻建筑物的自重非常必要。减轻自重有利于减小构件截面，节约建筑材料；有利于减小基础投资；有

利于改善结构抗震性能等。我们除了可以通过选用合理的楼盖形式、尽量减轻墙体的重量等措施外，还可以对承重构件采用轻质高强的结构材料，如钢材、轻骨料混凝土以及高强混凝土等。

2) 柱网、开间扩大化

为了使高层建筑能充分利用建筑空间、降低造价，我们应从建筑和结构两个方面着手扩大空间利用率。不但从建筑上布置大柱网，而且从结构功能出发，尽量满足大空间的要求。当然，柱网、开间的尺寸并不是越大越好，而是以满足建筑使用功能为度，并以满足结构承载力与侧移控制为原则。

3) 结构转换层

集吃、住、办公、娱乐、购物、停车等为一体的多功能综合性高层建筑，已经成为现代高层建筑的一大趋势。其结构特点是：下层部分是大柱网，而较小柱网多设于中、上层部分。由于不同建筑使用功能要求不同的空间划分布置，相应地，要求不同的结构形式之间通过合理地转换过渡，沿竖向组合在一起，就成为多功能综合性高层建筑结构体系的关键技术。这对高层建筑结构设计提出了新的问题，需要设置一种称为“转换层”的结构形式，来完成上下不同柱网、不同开间、不同结构形式的转换，这种转换层广泛应用于剪力墙结构及框架－剪力墙等结构体系中。

4) 结构体系巨型化

当前无论国内还是国外，高层建筑的高度大幅度增长，趋势是越来越高，面对这种情况，一般传统的三种结构体系框架、剪力墙、框架－剪力墙结构体系已经难以满足要求，需要能适应超高、更加经济有效的抗风、抗震结构体系。近年来，为适应发展需要，在一些超高层建筑工程实践中，已成功应用了一些新型的结构体系，如巨型框架结构体系、巨型支承结构体系等，根据其主要特点，可归结为“结构巨型化”。

5) 型钢混凝土的应用

型钢混凝土结构又称钢骨混凝土结构。它是指梁、柱、墙等杆件和构件以型钢为骨架，外包钢筋混凝土所形成的组合结构。在这种结构体系中，钢筋混凝土与型钢形成整体，共同受力；而包裹在型钢外面的钢筋混凝土，不仅在刚度和强度上发挥作用，且可以取代型钢外涂的防锈和防火材料，使材料更耐久，如图 10.7 所示。随着我国钢产量迅速增加，高层建筑层数增多，高度加大，要求更为复杂，加之型钢混凝土截面小、自重轻、抗震性能好，因而已从局部应用发展到在多个楼层，甚至整座建筑的主要结构均采用型钢混凝土。

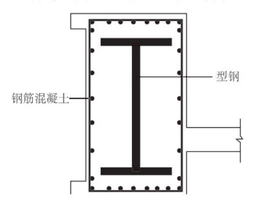


图 10.7　型钢混凝土梁断面图

10.2 多高层建筑结构体系的总体布置原则

《高规》中对高层建筑的结构体系做了如下要求。

(1) 结构的竖向和水平布置宜具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位。

(2) 宜具有多道抗震防线。

除此之外，高层建筑结构体系还应在以下方面加以注意。

1. 结构平面形状

平面布置简单、规则、对齐、对称，宜采用方形、矩形、圆形、Y 形等有利于抵抗水平荷载的建筑平面。平面布置不宜采用角部重叠的平面图形或腰形平面图形。平面长度不宜过长，平面突出部分长度不宜过大，宽度不宜过小，如图 10.8 所示，其值应满足表 10-1 的要求。

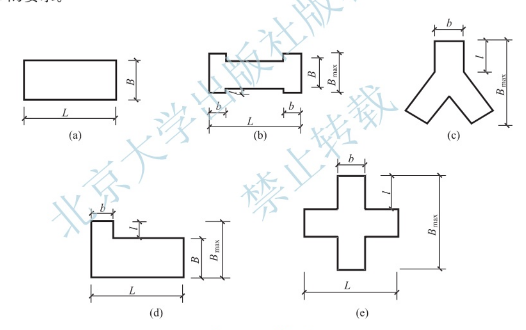


图 10.8 建筑平面

表 10-1 平面尺寸及突出部位尺寸的比值限值

设防烈度	L/B	L/B_{max}	L/b
6、7 度	≤ 6.0	≤ 0.35	≤ 2.0
8、9 度	≤ 5.0	≤ 0.30	≤ 1.5

2. 结构竖向布置

沿结构竖向布置时应注意结构的刚度和质量分布均匀，不要发生过大的突变。尽量避免夹层、错层和抽柱（墙）等现象，否则对结构的受力极为不利。对有抗震设防要求的高层建筑，竖向体型应力求规则、均匀，避免有过大的外挑和内收。

3. 控制结构适用高度和高宽比

高层钢筋混凝土建筑的最大适用高度应符合表 10-2 的规定。高宽比应符合相关规定。

表 10-2 现浇高层钢筋混凝土建筑适用的最大高度　　单位：m

结构类型		烈度				
		6 度	7 度	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)	9 度
框架		60	50	40	35	24
框架－抗震墙		130	120	100	80	50
抗震墙		140	120	100	80	60
部分框支抗震墙		120	100	80	50	不应采用
筒体	框架－核心筒	150	130	100	90	70
	筒中筒	180	150	120	100	80
板柱－抗震墙		80	70	55	40	不应采用

注：房屋高度指室外地面到主要屋面板板顶的高度（不包括局部突出屋顶部分）。

4. 变形缝的合理设置及构造

对于一般的多层结构，考虑到沉降、温度收缩和体型复杂对房屋结构的不利，常采用沉降缝、伸缩缝和防震缝将房屋分成若干独立的部分。

对于高层建筑结构，应尽量不设或少设缝，目前的趋势是避免设缝，从总体布置上或构造上采取一些相应的措施来减少沉降、温度收缩和体型复杂引起的问题。当建筑物平面形状复杂而又无法调整其平面形状和结构布置使之成为较规则的结构时，宜设置防震缝将其划分为较简单的几个结构单元，如图 10.9 所示。

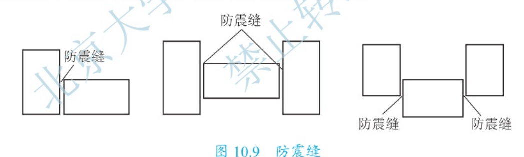


图 10.9　防震缝

10.3 框架结构

10.3.1 框架结构的类型

框架结构按施工方法可分为现浇式框架、装配式框架和装配整体式框架三种形式。

1. 现浇式框架

现浇式框架整体性及抗震性能好，预埋铁件少，较其他形式的框架节省钢材，建筑平面布置较灵活；但是模板消耗量大，现场湿作业多，施工周期长，在寒冷地区冬季施工困难。

2. 装配式框架

将梁、板、柱全部预制，然后在现场进行装配、焊接而成的框架称为装配式框架。

装配式框架的构件可采用先进的生产工艺在工厂进行大批量的生产，在现场以先进的组织管理方式进行机械化装配；但其结构整体性差，节点预埋件多，总用钢量较全现浇框架多，施工需要大型运输和吊装机械，在地震区不宜采用。

3. 装配整体式框架

装配整体式框架是将预制梁、柱和板在现场安装就位后，再在构件连接处现浇混凝土使之成为整体而形成框架。

10.3.2 框架结构的结构布置

1. 承重框架布置方案

在框架体系中，主要承受楼面和屋面荷载的梁称为框架梁，框架梁和柱组成主要承重框架。若采用双向板，则双向框架都是承重框架。承重框架有以下三种布置方案。

(1) 横向布置方案：是指框架梁沿房屋横向布置，连系梁和楼(屋)面板沿纵向布置，如图 10.10 所示。

(2) 纵向布置方案：是指框架梁沿房屋纵向布置，楼板和连系梁沿横向布置，如图 10.11 所示。

(3) 纵横向布置方案：是指沿房屋的纵向和横向都布置承重框架，如图 10.12 所示。

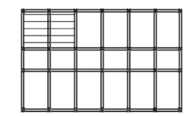


图 10.10　横向布置方案

图 10.11　纵向布置方案

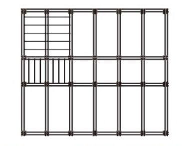


图 10.12　纵横向布置方案

2. 柱网布置和层高

1) 民用建筑

其柱网尺寸和层高一般按 300 mm 进级。常用跨度为 4.8 m、5.4 m、6 m、6.6 m 等，常用柱距为 3.9 m、4.5 m、4.8 m、6.0 m、6.6 m、6.9 m、7.2 m。采用内廊式时，走廊跨度一般为 2.4 m、2.7 m、3 m。常用层高为 3.0 m、3.3 m、3.6 m、3.9 m、4.2 m。

2) 工业建筑

其典型的柱网布置形式有内廊式、跨度组合式等，如图 10.13 所示。

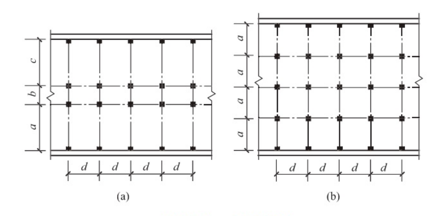


图 10.13　柱网布置

(a) 内廊式；(b) 跨度组合式

采用内廊式布置时，常用跨度为 6 m、6.6 m、6.9 m，走廊宽度常用 2.4 m、2.7 m、3 m，开间方向柱距为 3.6 ～ 8 m。等跨式柱网的跨度常用 6 m、7.5 m、9 m、12 m，柱距一般为 6 m。

工业建筑底层往往有较大设备和产品，甚至有起重运输设备，故底层层高一般较大。底层常用层高为 4.2 m、4.5 m、4.8 m、5.4 m、6.0 m、7.2 m、8.4 m，楼层常用层高为 3.9 m、4.2 m、4.5 m、4.8 m、5.6 m、6.0 m、7.2 m 等。

3. 变形缝

变形缝包括伸缩缝、沉降缝、防震缝。

变形缝的设置原则：钢筋混凝土框架结构的沉降缝一般设置在地基土层压缩性有显著差异，或房屋高度或荷载有较大变化等处。

当建筑平面过长、高度或刚度相差过大以及各结构单元的地基条件有较大差异时，钢筋混凝土框架结构应考虑设置防震缝。

10.4 其他多高层钢筋混凝土房屋的抗震构造措施

10.4.1 剪力墙的抗震构造措施

1. 截面尺寸

(1) 底部加强部位的范围：应从地下室顶板算起；底部加强部位的高度可取底部两层和墙体总高度的 1/10 二者的较大值；当结构计算嵌固端位于地下一层底板或以下时，底部加强部位宜延伸至计算嵌固端。



【剪力墙支模构造】

(2) 一、二级剪力墙，底部加强部位不应小于 200 mm，其他部位不应小于 160 mm；无端柱或翼墙的一字形独立剪力墙，底部加强部位不应小于 220



mm，其他部位不应小于 180 mm。

(3) 三、四级剪力墙的截面厚度，不应小于 160 mm，无端柱或无翼墙的一字形独立剪力墙，底部加强部位截面厚度不应小于 180 mm。

(4) 非抗震设计的剪力墙的截面厚度不应小于 160 mm。

(5) 剪力墙井筒中，分隔电梯井或管道井的墙肢截面厚度可适当减小，但不宜小于 160 mm。

2. 竖向、横向分布钢筋的配筋要求

(1) 高层剪力墙结构的竖向和水平分布钢筋不应单排配置。剪力墙截面厚度不大于 400 mm 时，可采用双排配筋；大于 400 mm、但不大于 700mm 时，宜采用三排配筋；大于 700 mm 时，宜采用四排配筋。各排分布钢筋之间拉筋的间距不应大于 600 mm，直径不应小于 6 mm；在底部加强部位，约束边缘构件以外的拉筋间距宜适当加密。

(2) 剪力墙竖向和水平分布钢筋的配筋率，一、二、三级时均不应小于 0.25%，四级和非抗震设计时均不应小于 0.20%。剪力墙的竖向和水平分布钢筋的间距均不宜大于 300 mm，直径不应小于 8 mm。剪力墙的竖向和水平分布钢筋的直径不宜大于墙厚的 1/10。

(3) 房屋顶层剪力墙、长矩形平面房屋的楼梯间和电梯间剪力墙、端开间纵向剪力墙以及端山墙的水平和竖向分布钢筋的配筋率均不应小于 0.25%，间距均不应大于 200 mm。

(4) 跨高比 (l/h_b) 不大于 1.5 的连梁，非抗震设计时，其纵向钢筋的最小配筋率应为 0.2%；抗震设计时，其纵向钢筋的最小配筋率宜符合《高规》中的规定，见表 10-3 的要求；跨高比大于 1.5 的连梁，其纵向钢筋的最小配筋率可按框架梁的要求采用。

(5) 剪力墙结构连梁中，非抗震设计时，顶面及底面单侧纵向钢筋的最大配筋率不宜大于 2.5%；抗震设计时，顶面及底面单侧纵向钢筋的最大配筋率宜符合相关要求。如不满足，则应按实配钢筋进行连梁强剪弱弯的验算。

表 10-3　跨高比不大于 1.5 的连梁纵向钢筋的最小配筋率　　单位：%

跨高比	最小配筋率（采用较大值）
$l/h_b \leqslant 0.5$	0.20，$45f_t/f_y$
$0.5<l/h_b \leqslant 1.5$	0.25，$55f_t/f_y$

10.4.2 框架－剪力墙的抗震构造措施

1. 配筋要求

抗震设计时，框架－剪力墙结构、板柱－剪力墙结构中，剪力墙的竖向、水平分布钢筋的配筋率均不应小于 0.25%，非抗震设计时均不应小于 0.20%，并应至少双排布置。各排分布筋之间应设置拉筋，拉筋直径不应小于 6 mm，间距不应大于 600 mm。

2. 带边框剪力墙的构造要求

(1) 带边框剪力墙的截面厚度应符合下列规定。

① 抗震设计时，一、二级剪力墙的底部加强部位不应小于 200 mm。

② 除第①项以外的其他情况下不应小于 160 mm。

(2) 剪力墙的水平钢筋应全部锚入边框柱内，锚固长度不应小于 l_a(非抗震设计）或

l_{aE}(抗震设计)。

(3) 与剪力墙重合的框架梁可保留，亦可做成宽度与墙厚相同的暗梁，暗梁截面高度可取墙厚的2倍或与该榀框架梁截面等高，暗梁的配筋可按构造配置且应符合一般框架梁相应抗震等级的最小配筋要求。

(4) 剪力墙截面宜按工字形设计，其端部的纵向受力钢筋应配置在边框柱截面内。

(5) 边框柱截面宜与该榀框架其他柱的截面相同，边框柱应符合框架柱构造配筋规定；剪力墙底部加强部位边框柱的箍筋宜沿全高加密；当带边框剪力墙上的洞口紧邻边框柱时，边框柱的箍筋宜沿全高加密。

10.4.3 筒体结构抗震构造要求

框架－核心筒结构应符合下列要求。

(1) 核心筒与框架之间的楼盖宜采用现浇梁板体系。

(2) 低于9度采用加强层时，加强层的大梁或桁架应与核心筒内的墙肢贯通；大梁或桁架与周边框架柱的连接宜采用铰接或半刚性连接。

(3) 结构整体分析应计入加强层变形的影响。

(4) 设防烈度为9度时不应采用加强层。

(5) 在施工程序及连接构造上，应采取措施减小结构竖向温度变形及轴向压缩对加强层的影响。

10.5 高层建筑发展趋势

高层建筑存在造价昂贵、技术条件复杂、管理费用高、上下不方便、居住不舒适等缺点，但又有占地面积少、减少城市基础设施、改善环境质量、改变城市布局和市容等一系列优点。事实上高层建筑是伴随着社会的进步、生产力的发展以及人类精神文明和物质文明的不断提高而发展起来的。在未来的日子里，将会对此提出更高的要求。

(1) 在建筑规模和建筑高度上都将会有新的突破，强调建筑物的多功能和高效益。

(2) 高强混凝土、钢管混凝土和型钢混凝土的应用。

(3) 复杂体型的高层建筑不断兴建，如巨型结构、蒙皮结构、带加强层结构、立面设置大洞口、设置制振机构、连体结构、错层结构、多塔楼结构及带转换层高层结构等。

(4) 在结构设计方法方面，着重技术深化。



模块小结

(1) 在我国，10 层及 10 层以上或高度大于 28 m 的住宅建筑以及房屋高度大于 24 m 的其他高层民用建筑称为高层建筑，否则称为多层建筑。

(2) 多高层建筑常用的结构类型有混合结构、框架结构、剪力墙结构、框架－剪力墙结构和筒体结构。

(3) 多高层建筑承受的竖向荷载较大，同时还承受控制作用水平力。结构布置的合理性对多高层结构的经济性及施工的合理性影响较大。所以多高层建筑设计应该注重概念设计，重视结构选型与建筑平面、立面布置的规律性，选择最佳结构体系，加强构造措施以保证建筑结构的整体性，使整个结构具有必要的强度、刚度和变形能力。

(4) 利用建筑物的墙体作为竖向承重和抵抗侧力的结构称为剪力墙结构。剪力墙实质上是固结于基础的钢筋混凝土墙片，具有很高的抗侧移能力。因其既承担竖向荷载，又承担水平荷载——剪力，故名剪力墙。

(5) 在框架结构中的适当部位增设一定数量的钢筋混凝土剪力墙，形成的框架和剪力墙结合在一起共同承受竖向和水平力的体系称做框架－剪力墙体系，简称框剪体系。

习　题

1. 填空题

(1) ____________ 是用不同的材料做成的构件组成的房屋。

(2) 利用建筑物的墙体作为竖向承重和抵抗侧力的结构称为 ____________。

(3) 根据开孔的多少，筒体有 ____________ 和 ____________ 之分。

(4) 变形缝有 ____________、____________ 和 ____________ 三种。

2. 选择题

(1) 框架结构按施工方法可分为 (　　)。

A．现浇式框架　　B．装配式框架

C．装配整体式框架　　D．横向承重框架

(2) 框架结构常见的柱网布置形式有 (　　) 两种。

A．内廊式　　B．跨度组合式

C．横向承重框架　　D．纵向承重框架

(3) 变形缝包括 (　　)。

A．伸缩缝　　B．沉降缝

C．防震缝　　D．施工缝

(4) 框架结构设计中，“梁比柱的屈服尽可能先发生和多出现，底层柱的塑性铰最晚形成，同一层中各柱两端的屈服过程越长越好”这一原则称为 (　　)。

A．强柱弱梁　　B．强剪弱弯

C．强节点弱构件　　D．延性设计

(5) 当建筑平面过长、高度或刚度相差过大以及各结构单元的地基条件有较大差异时，钢筋混凝土框架结构应考虑设置 (　　)。

A．伸缩缝　　B．沉降缝

C．防震缝　　D．施工缝

3. 判断题

(1) 10 层及 10 层以上或高度大于 28 m 的房屋称为高层房屋，否则称为多层房屋。(　　)

(2) 框架结构以梁和柱为主要承重构件。(　　)

(3) 剪力墙结构抗侧移能力不大，不能承受水平荷载——剪力。(　　)

(4) 框架－剪力墙结构体系可用于较高 (10 ～ 20 层) 的高层建筑。(　　)

(5) 房屋有较大错层者，且楼面高差较大处宜设置沉降缝。(　　)

(6) 沉降缝应该从基础底部断开。(　　)



地基与基础概述

教学目标

了解地基土的分类，了解基础的类型与选用，了解减轻建筑物不均匀沉降的措施。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
了解基础的类型与选用	基础的类型与选用	40%
了解减轻建筑物不均匀沉降的措施	减轻建筑物不均匀沉降的建筑措施、结构措施及施工措施	20%
了解地基土的分类	地基土的分类	40%

学习重点

地基土的分类，地基承载力，天然地基上浅基础，减轻建筑物不均匀沉降的措施。

引例

本书中的实例一为墙下钢筋混凝土条形基础，实例二为柱下钢筋混凝土独立基础，如图 11.1 所示。

请思考：除以上两种基础外，还有哪些基础类型？

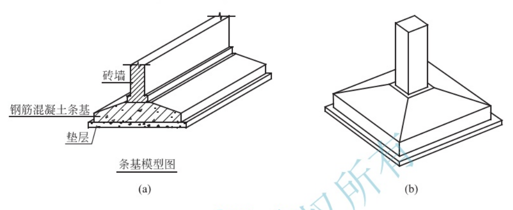


图 11.1 基础

(a) 钢筋混凝土条形基础；(b) 钢筋混凝土独立基础

11.1 地基土的分类及地基承载力

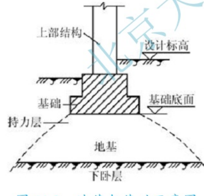


图 11.2 地基与基础示意图

建筑结构都是由埋在地面以下一定深度的基础和支承于其上的上部结构组成的，基础又坐落在称为地基的地层（土或岩石）上，如图 11.2 所示。

基础是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至地基。地基与基础对建筑结构的重要性是显而易见的，它们埋在地下，一旦发生质量事故，不光开始难以察觉，其修补工作也要比上部结构困难得多，事故后果又往往是灾难性的，实际上建筑结构的事故绝大多数是由地基和基础引起的。

基础是建筑结构的一部分，和上部结构相同，基础应有足够的强度、刚度和耐久性。基础虽然有很多种形式，但可概括分为两大类，即浅基础和深基础。深基础和浅基础没有一个明确的分界线，一般将埋置深度不大，只需开挖基坑及排水等普通施工工艺建造的基础称为浅基础；反之，埋置深度较大，需借助于特殊的施工方法建造的基础称为深基础。

11.1.1 地基土(岩)的工程分类

地基土分类的主要依据是三相的组成、粒径级配、土粒的形状和矿物成分等。我国现行规范将地基土（岩）分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土、人工填土等。

(1) 岩石。岩石应为颗粒间牢固联结，呈整体或具有节理裂隙的岩体。岩石根据其坚硬程度分为坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩和极软岩。岩石根据其风化程度可分为未风化、微风化、中风化、强风化和全风化。

(2) 碎石土。碎石土为粒径大于 2 mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。碎石土可按粒组含量和颗粒形状分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾，碎石土的密实度，可分为松散、稍密、中密、密实。碎石土的密实度按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 确定。

(3) 砂土。砂土为粒径大于 2 mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075 mm 的颗粒超过全重 50% 的土。砂土可分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

砂土的密实度，可分为松散、稍密、中密、密实。砂土的密实度按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 确定。

(4) 粉土。粉土为塑性指数 $I_P \leqslant 10$ 且粒径大于 0.075 mm 的颗粒含量不超过全重 50% 的土，它介于砂土与黏性土之间。

(5) 黏性土。黏性土是塑性指数 I_P 大于 10 的土。黏性土的状态可按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑 5 种状态。

(6) 人工填土。人工填土是指由于人类活动堆积的土。其物质成分杂乱且均匀性较差，堆积时间也各不相同，故用作地基时应特别慎重，可分为素填土、压实填土、杂填土和冲填土。

(7) 特殊土。特殊土指具有一定分布区域或工程意义上具有特殊成分、状态和结构特征的土。大体可分为软土、红黏土、黄土、膨胀土、多年冻土、湿陷性土和盐渍土等。

11.1.2 地基承载力

地基承载力系指在保证地基强度和稳定的条件下，建筑物不产生过大沉降和不均匀沉降而安全承受荷载的能力。地基承载力的确定在地基基础设计中是一个非常重要而又十分复杂的问题，它不仅与土的物理力学性质有关，而且还与建筑类型、结构特点、基础形式、基础的底面尺寸、基础埋深、施工速度等因素有关。


【基础】

11.2 天然地基上浅基础

11.2.1 浅基础的类型

1. 按基础埋置深度

基础埋置深度简称埋深，指室外底面标高到基础底面的垂直距离。

(1) 浅基础。将埋置深度不大，只需开挖基坑及排水等普通施工工艺建造的基础称为

浅基础，一般基础埋深 $d \leqslant 5$ m。

(2) 深基础。将埋置深度较大，需借助于特殊的施工方法建造的基础称为深基础，一般基础埋深 $d>5$ m。

2. 按材料分类

基础按使用的材料分为无筋扩展基础 (砖基础、毛石基础、灰土基础、三合土基础、混凝土基础、毛石混凝土基础) 和扩展基础 (钢筋混凝土基础)。

(1) 砖基础。砖基础取材容易、施工简便、价格低廉，广泛应用于六层及六层以下的民用房屋中。砖基础的剖面呈阶梯状，这个阶梯称为大放脚，大放脚从垫层上开始砌筑，为保证其刚度应为两皮砖一收，具体构造要求如图 11.3 所示。砖基础具有一定的抗压强度，但抗拉和抗剪强度较低，抗冻性能也较差。

(2) 毛石基础。毛石基础用于石料取材容易、价格相对便宜的地方。毛石基础用强度较高又未风化的毛石砌筑，具体构造要求如图 11.4 所示，基础应竖砌、错缝、缝内砂浆饱满。

(3) 灰土基础。灰土基础适用于五层和五层以下，地下水位较低的民用混合结构房屋和用墙承重的轻型厂房，如图 11.5 所示。灰土是用经过熟化后的石灰粉和黏性土 (以粉质黏土为宜) 按一定比例加适量的水拌和分层夯实而成的。其配合比为 3 : 7 或 2 : 8。一般多采用三步灰土，即分三步夯实，夯实后总厚度为 450 mm。

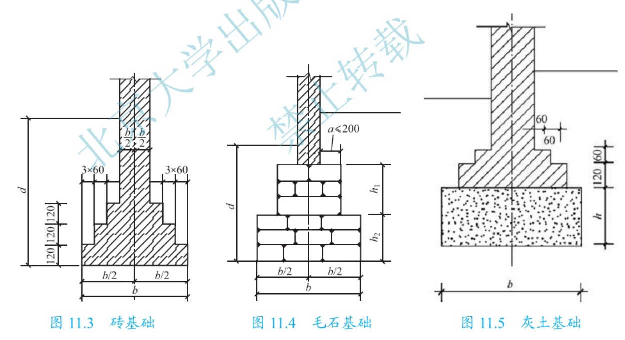


图 11.3 砖基础　　图 11.4 毛石基础　　图 11.5 灰土基础

(4) 三合土基础。三合土基础是用石灰、砂与骨料 (碎石、碎砖、矿渣) 加入适当的水经充分拌和后，均匀铺入基槽内，并分层夯实而成 (虚铺 220 mm，夯至 150 mm 为一步)，然后在它上面砌砖大放脚。石灰、砂及碎砖三合土的体积配合比为 1 : 2 : 4 或 1 : 3 : 6。

(5) 混凝土和毛石混凝土基础。当荷载较大时，常用混凝土基础。混凝土基础 (图 11.6) 的强度、耐久性、抗冻性都较好但因水泥用量较大，造价比砖、毛石基础高。为节约水泥用量，可在混凝土内掺入 25% ~ 30% 体积的毛石 (毛石尺寸大小不宜超过 300

mm)，即为毛石混凝土基础。

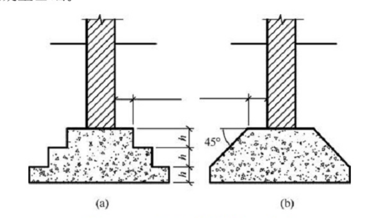


图 11.6　混凝土基础构造示意图

(a) 矩形截面；(b) 锥形截面

以上五种类型的基础有个共同的弱点，就是没有配置钢筋，其组成材料的抗拉、抗弯强度都较低。在地基反力作用下，基础下部的扩大部分像悬臂梁一样要向上弯曲，如果悬臂过长，则易产生弯曲裂缝。因此，需要限制台阶宽高比的容许值以保证基础的强度安全。悬臂长度只要符合宽高比的规定，就不会发生弯曲破坏，这类基础统称为刚性基础，又称无筋扩展基础。

(6) 钢筋混凝土基础。将上部结构传来的荷载，通过向侧边扩展成一定底面积，使作用在基底的压应力小于或等于地基土的允许承载力，而基础内部的应力应同时满足材料本身的强度要求，这种起到压力扩散作用的基础称为扩展基础，也称作柔性基础，如柱下钢筋混凝土独立基础和墙下钢筋混凝土条形基础，如图 11.7 和图 11.8 所示。

3. 按构造分类

1) 单独基础

工程中常见的单独基础为柱下独立基础，其竖截面可做成阶梯形或锥形，如图 11.7(a)、(b) 所示；预制的柱下单独基础一般做成杯形，如图 11.7(c) 所示。

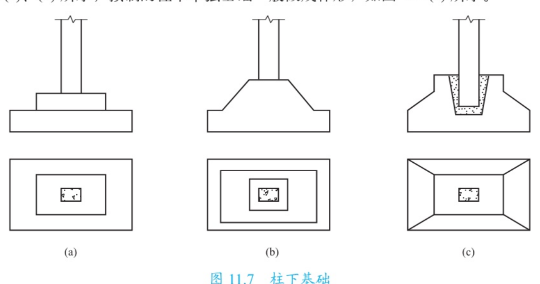
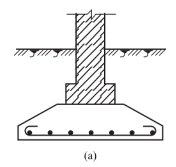


图 11.7　柱下基础

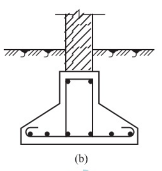
(a) 阶梯形基础；(b) 锥形基础；(c) 杯形基础

2) 条形基础

(1) 墙下条形基础。条形基础是墙基础的主要类型，常用砖石材料建造，必要时可用钢筋混凝土制成，后者又分为有肋式和无肋式两种，如图 11.8 所示。



(a)



(b)

图 11.8　墙下钢筋混凝土条形基础

(a) 无肋式；(b) 有肋式

(2) 柱下条形基础。当荷载较大而地基软弱时，采用柱下单独基础会使基底面积过大，这时可将同一排 (条) 柱的基础连通做成钢筋混凝土条形基础，如图 11.9 所示。

(3) 柱下十字交叉基础。当荷载更大而地基相对更软弱时，可在柱网的纵、横两个方向都设置钢筋混凝土条形基础连成柱下十字交叉基础以提高基础的承载力、刚度和整体性，减少基础的不均匀沉降，如图 11.10 所示。

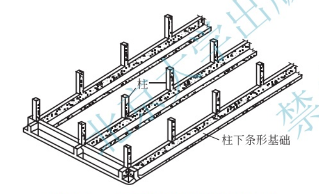


图 11.9　柱下钢筋混凝土条形基础

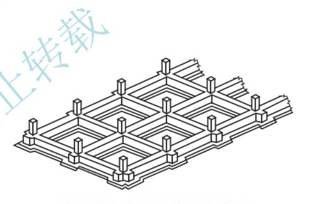


图 11.10　柱下十字交叉基础

3) 筏形基础

若地基特别软弱、荷载又很大，用十字交叉基础也不能满足要求时，可采用筏形基础。筏形基础以整个房屋下大面积的筏片与地基接触，因而可以传递较大的上部荷载，筏形基础的整体性较好，能调整各部分的不均匀沉降。

它可以做成倒置的肋形楼盖的形式如图 11.11 所示，也可以做成倒置的无梁楼盖的形式。后者板厚较大，用料多，刚度较前者差，但施工方便；前者则折算厚度小，用料省，刚度好，但施工麻烦且费模板。

4) 箱形基础

箱形基础是由钢筋混凝土整片底板、顶板和钢筋混凝土纵、横墙组成的空间盒子，具有比上述各种基础形式大得多的刚度和整体性，如图 11.12 所示。它的整体抗弯能力也很大，特别适用于地基软弱、土层较厚、房屋底面积不大而荷载又很大或要求设有地下室的高层建

筑和重要建筑。箱形基础的空心部分正好可作为地下室，满足各种功能和设施的要求。

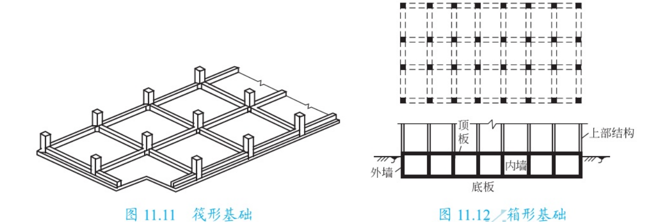


图 11.11 筏形基础　　图 11.12 箱形基础

5) 桩基础

当上部结构荷载太大且浅层地基软弱又不宜采用地基处理，或坚实土层距基础底面较深、采用其他基础形式可能导致沉降过大而不能满足地基变形与强度要求时，必须利用地基下部深层较坚硬的土层作为持力层而设计成桩基，如图 11.13 所示。桩基础由承台和桩身两部分组成，桩基础的作用是将上部结构的荷载通过桩身与桩尖传至深层较坚硬的地层中，故桩基础能承受较大的荷载，能减少建筑物不均匀沉降，而且对地基土有挤密作用。桩基础是一种最常用的深基础，它承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、抗震性能好、便于机械化施工、适应性强，在高层建筑、动力设备基础、桥梁及港口工程中应用极为广泛。

【基础施工】

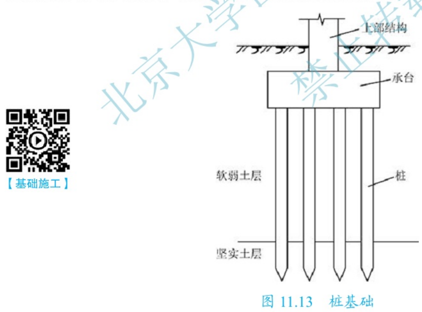


图 11.13 桩基础

11.2.2 影响基础埋置深度的主要因素

基础的埋置深度是指室外设计地面至基础底面的竖向距离。应综合考虑以下几个方面的因素：建筑物的用途；作用在地基上的荷载大小和性质；工程地质和水文地质条件；相邻建筑物基础的影响；地基土冻胀和融陷的影响等。

11.3 减轻建筑物不均匀沉降的措施

一般来说，建筑物出现沉降是难以避免的，但是过大的地基变形将使建筑物损坏或影响它的使用功能。如何防止和减轻基础不均匀沉降引起的损害是建筑设计中必须考虑的问题。我们可以从地基、基础和上部结构相互作用的观点出发，综合选择合理的建筑、结构设计及施工方案，并采取相应的措施，以减轻不均匀沉降对建筑物的危害。

1. 建筑措施

(1) 建筑体形力求简单、高差不宜过大。建筑平面简单、高度一致的建筑物，基底应力较均匀，整体刚度好，即使沉降较大，建筑物也不易产生裂缝和损坏。例如，平面呈“一”字形的建筑物整体性好，建筑物体形（平面及剖面）复杂，往往削弱建筑物的整体刚度。建筑物立面体形变化也不要太大。

(2) 控制建筑物的长高比及合理布置纵横墙。砖石承重的建筑物，当其长度与高度之比较小时，建筑物的刚度好。即使沉降较大，也不至于引起建筑物开裂。相反，长高比大的建筑物其整体刚度小，纵墙很容易因挠曲变形过大而开裂。根据建筑实践经验，当基础计算沉降量大于 120 mm 时，建筑物的长高比不宜大于 2.5；对于平面简单，内、外墙贯通，横墙间隔较小的房屋，长高比可适当放宽，但一般不宜大于 3.0。

合理布置纵横墙是增强建筑物刚度的重要措施之一，因为纵横墙构成了建筑物的空间刚度，所以适当加密横墙的间距，就可增强建筑物的整体刚度，纵横墙转折会削弱建筑物的整体性，所以建造在软弱地基上的建筑物，纵横墙最好不转折或少转折。

(3) 设置沉降缝。当地基很不均匀且建筑物体形复杂又不可避免时，用沉降缝将建筑物从屋面到基础分割为若干个独立的单元，使建筑平面变得简单可有效地减轻地基不均匀沉降。沉降缝通常设置在如下部位：平面形状复杂的建筑物转折处；建筑物高差或荷载差别很大处；长高比过大的建筑物的适当部位；地基土压缩性有显著变化处；建筑物结构或基础类型不同处；分期建筑的交接处。

沉降缝应留有足够的宽度，见表 11-1，缝内一般不填塞材料，以保证沉降缝上端不致因相邻单元内倾而顶住。沉降缝的宽度与建筑物的层数有关。

表 11-1 沉降缝的宽度

房屋层数	沉降缝的宽度 /mm
2 ~ 3	50 ~ 80
4 ~ 5	80 ~ 120
5 层以上	不小于 120

(4) 控制建筑物基础间距，见表 11-2。相邻建筑物太近，由于地基应力扩散作用，会互相影响，引起相邻建筑物产生附加沉降。建造在软弱地基上的建筑物，应将高低悬殊的部分（或新老建筑物）离开一定距离。如离开距离后的两个单元之间需要连接时，应设置能自由沉降的独立连接体或采用简支、悬臂结构。

表 11-2 相邻建筑物基础间的净距 /m

被影响的建筑物长高比 / 影响建筑的预估平均沉降量 s/mm	$2.0 \leqslant \frac{L}{H_f} < 3.0$	$3.0 \leqslant \frac{L}{H_f} < 5.0$
70 ~ 150	2 ~ 3	3 ~ 6
160 ~ 250	3 ~ 6	6 ~ 9
260 ~ 400	6 ~ 9	9 ~ 12
⩾ 400	9 ~ 12	⩾ 12

注：1. 表中 L 为建筑物长度或沉降缝分割的单元长度 (m)；H_f 为自基础底面标高算起的建筑物高度 (m)。

2. 当被影响建筑物的长高比为 $1.5 < \frac{L}{H_f} < 2.0$ 时，其间净距可适当缩小。

2. 结构措施

(1) 减轻建筑物自重。基底压力中，建筑物自重所占比例很大。采用高强轻型砌体材料、选用轻型结构、减少基础和回填土重量能大大减少建筑物沉降量。

(2) 设置圈梁。不均匀沉降会引起砌体房屋墙体开裂，圈梁的设置可增大建筑物的整体性、刚度和承载力。

(3) 减少和调整基底附加压力。改变基础形式及基底尺寸、增设地下室等架空层可减少和调整基底附加压力。

(4) 将上部结构做成静定体系。当发生不均匀沉降时采用静定结构体系不致引起很大的附加应力，故在软弱地基上建造的公共建筑、单层工业厂房、仓库等，可考虑采用静定结构体系，以适应不均匀沉降的要求。

3. 施工措施

合理安排施工顺序和注意选用施工方法可减少或调整不均匀沉降。当建筑物存在高低或轻重不同部分时，应先施工高层及重的部分，后建轻的及低层部分。如果在高低层之间使用连接体时，应最后修建连接体，以调整高低层之间部分沉降差异。不要扰动基底土的原来结构，通常在坑底保留约 200 mm 厚的土层，如发现坑底土已被扰动，应将已扰动土挖去，再用砂、碎石等回填夯实。在软弱地基土上、已建和在建房屋外围应避免大量、长时间堆放，以免引起新老房屋的附加沉降。

模块小结

建筑结构都是由埋在地面以下一定深度的基础和支承于其上的上部结构组成的，基础又坐落在称为地基的地层（土或岩石）上。基础是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至地基。

我国现行规范将地基（岩）分为岩石、碎石土、砂土、粉土、黏性土、人工填土等。

基础按埋置深度的不同，可分为浅基础和深基础两类。一般在天然地基上修筑浅基础，其施工简单，造价低，而人工地基及深基础往往施工复杂，造价较高。因此，在保证建筑物安全和正常使用的条件下，应首先选用天然地基上浅基础的方案。

习　题

1. 填空题

(1) ________ 是建筑结构的重要受力构件，上部结构所承受的荷载都要通过基础传至 ________。

(2) 我国现行规范将地基土分为 ________、________、________、粉土、黏性土、人工填土等。

(3) 按使用材料的不同基础可分为 ________ 和 ________。

(4) 按结构形式的不同扩展基础可分为 ________、________、________、________、________ 和 ________。

2. 单项选择

(1) 划分浅基础和深基础的标准是 (　　)。

A．埋深小于 5 m 的基础是浅基础　　B．埋深小于 6 m 的基础是浅基础

C．埋深大于 10 m 的基础是深基础　　D．主要按照基础的施工方法来划分

(2) (　　) 具有良好的抗剪能力和抗弯能力，并具有耐久性和抗冻性好，构造形式多样，可满足不同的建筑和结构功能要求，能与上部结构结合成整体共同工作等优点。

A．墙下无筋扩展基础　　B．钢筋混凝土扩展基础

C．柱下无筋扩展基础　　D．墙下独立基础

(3) 扩展基础不包括 (　　)。

A．柱下条形基础　　B．柱下独立基础

C．墙下条形基础　　D．无筋扩展基础

(4) 钢筋混凝土独立基础主要指 (　　)，通常有现浇台阶形基础、现浇锥形基础和预制柱的杯口形基础等。

A．墙下基柱　　B．柱下基础

C．十字交叉条形基础　　D．箱形基础

(5) 下列措施中，(　　) 不属于减轻不均匀沉降危害的措施。

A．建筑物的体形应力求简单　　B．相邻建筑物之间应有一定距离

C．设置沉降缝　　D．设置伸缩缝

(6) 下列说法中错误的是 (　　)。

A．沉降缝宜设置在地基土的压缩性有显著变化处

B．沉降缝宜设置在分期建造房屋的交界处

C．沉降缝宜设置在建筑物结构类型截然不同处

D．伸缩缝可兼作沉降缝

(7) 下列说法中错误的是 (　　)。

A．原有建筑物受邻近新建重型或高层建筑物影响

B．设置圈梁的最佳位置在房屋中部

C．相邻建筑物的合理施工顺序是：先重后轻，先深后浅

D．在软土地基上开挖基坑时，要注意尽可能不扰动土的原状结构



3. 简答题

(1) 常见的基础类型有哪些？简述各自的特点及适用范围。

(2) 什么是地基承载力？影响地基承载力的因素有哪些？

(3) 选择基础埋深时应考虑哪些因素？

(4) 简述减轻地基不均匀沉降的措施。



模块12 装配式混凝土结构简介

教学目标

通过本模块的学习，使学生掌握装配式结构的基本概念，并能够认识常见的预制混凝土构件。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握装配式结构的概念及装配式混凝土结构的分类	装配式结构的概念；装配式混凝土结构的分类	35%
掌握常见的预制混凝土构件	常见的预制混凝土构件	65%

学习重点

装配式混凝土结构；预制混凝土构件。

引例

2016 年 2 月 6 日，中共中央国务院发布《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》指出：积极适应和引领经济发展新常态，把城市规划好、建设好、管理好，对促进以人为核心的新型城镇化发展，建设美丽中国，实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴的中国梦具有重要的现实意义和深远的历史意义。为进一步加强和改进城市规划建设管理工作，解决制约城市科学发展的突出矛盾和深层次问题，开创城市现代化建设新局面，现提出以下意见。

为全面推进装配式建筑发展，2016 年 9 月，国务院发布了《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》(国办发〔2016〕71 号)；2017 年 3 月住房和城乡建设部发布了《“十三五”装配式建筑行动方案》《装配式建筑示范城市管理办法》《装配式建筑产业基地管理办法》。

《国务院办公厅关于大力发展装配式建筑的指导意见》指出：装配式建筑是用预制部品部件在工地装配而成的建筑。发展装配式建筑是建造方式的重大变革，是推进供给侧结构性改革和新型城镇化发展的重要举措，有利于节约资源能源、减少施工污染、提升劳动生产效率和质量安全水平，有利于促进建筑业与信息化工业化深度融合、培育新产业新动能、推动化解过剩产能。近年来，我国积极探索发展装配式建筑，但建造方式大多仍以现场浇筑为主，装配式建筑比例和规模化程度较低，与发展绿色建筑的有关要求以及先进建造方式相比还有很大差距。

《“十三五”装配式建筑行动方案》进一步明确了阶段性工作目标，即到 2020 年，全国装配式建筑占新建建筑的比例达到 15% 以上，其中重点推进地区达到 20% 以上，积极推进地区达到 15% 以上，鼓励推进地区达到 10% 以上。鼓励各地制定更高的发展目标。建立健全装配式建筑政策体系、规划体系、标准体系、技术体系、产品体系和监管体系，形成一批装配式建筑设计、施工、部品部件规模化生产企业和工程总承包企业，形成装配式建筑专业化队伍，全面提升装配式建筑质量、效益和品质，实现装配式建筑全面发展。根据《行动方案》，到 2020 年，培育 50 个以上装配式建筑示范城市，200 个以上装配式建筑产业基地，500 个以上装配式建筑示范工程，建设 30 个以上装配式建筑科技创新基地，充分发挥示范引领和带动作用。

《装配式建筑示范城市管理办法》明确了示范城市的申请、评审、认定、发布和监督管理的各项要求。根据办法，示范城市是指在装配式建筑发展过程中，具有较好的产业基础，并在装配式建筑发展目标、支持政策、技术标准、项目实施、发展机制等方面能够发挥示范引领作用的城市。


【住宅产业化施工样片】

《装配式建筑产业基地管理办法》明确，产业基地是指具有明确的发展目标、较好的产业基础、技术先进成熟、研发创新能力强、产业关联度大、注重装配式建筑相关人才培养培训、能够发挥示范引领和带动作用的装配式建筑相关企业，主要包括装配式建筑设计、部品部件生产、施工、装备制造、科技研发等企业。

12.1 装配式混凝土结构概述



【装配化实例】

12.1.1 装配式结构的概念

装配式结构是由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构，包括装配式混凝土结构、全装配混凝土结构等。装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过各种可靠的连接方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的混凝土结构，简称装配整体式结构。

12.1.2 装配式混凝土结构的分类

1. 装配式混凝土框架结构

装配式混凝土框架结构即全部或部分框架梁、柱采用预制构件构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式框架结构，如图 12.1 所示。

2. 装配式混凝土剪力墙结构

装配式混凝土剪力墙结构即全部或部分剪力墙采用预制墙板构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式剪力墙结构，如图 12.2 所示。

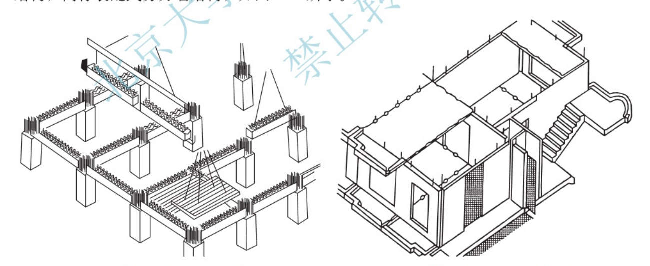


图 12.1 装配式混凝土框架结构　　图 12.2 装配式混凝土剪力墙结构

3. 装配式混凝土框架－现浇剪力墙结构

装配式混凝土框架－现浇剪力墙结构由装配整体式框架结构和现浇剪力墙（现浇核心筒）两部分组成。这种结构形式中的框架部分采用与预制装配整体式框架结构相同的预制装配技术，使预制装配框架技术在高层及超高层建筑中得以应用。鉴于对该种结构形式的整体受力研究不够充分，目前，装配式混凝土框架－现浇剪力墙结构中的剪力墙只能采用现浇。

12.1.3 装配式混凝土结构的适用范围

根据《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1—2014) 的规定，装配整体式结构房屋的最大适用高度见表 12-1，最大高宽比见表 12-2。

表 12-1　装配整体式结构房屋的最大适用高度　　单位：m

结构类型	抗震设防烈度			
	6 度	7 度	8 度 (0.2g)	8 度 (0.3g)
装配式混凝土框架结构	60	50	40	30
装配式整体式框架－现浇剪力墙结构	130	120	100	80
装配式整体式剪力墙结构	130	110	90	70
装配式整体式部分框支剪力墙结构	110	90	70	40

表 12-2　装配整体式结构房屋的最大高宽比

结构类型	抗震设防烈度	
	6、7 度	8 度
装配式混凝土框架结构	4	3
装配式整体式框架－现浇剪力墙结构	6	5
装配式整体式剪力墙结构	6	5


【预制构件产品介绍】

12.2　预制混凝土构件概述

12.2.1 预制混凝土(受力)构件简介

装配式混凝土结构常用的预制构件有预制混凝土框架柱、预制混凝土叠合梁、预制混凝土剪力墙外墙板、预制混凝土剪力墙内墙板、预制混凝土钢筋桁架叠合楼板、预制带肋底板混凝土叠合楼板、预制混凝土楼梯板、预制混凝土阳台板、预制混凝土空调板、预制混凝土女儿墙、预制混凝土外墙挂板等。这些主要受力构件通常在工厂预制加工完成待强度符合规定要求后，再进行现场装配施工。

1. 预制混凝土框架柱

预制混凝土框架柱 (图 12.3) 是建筑物的主要竖向结构受力构件，一般采用矩形截面。

2. 预制混凝土叠合梁

预制混凝土叠合梁是由预制混凝土底梁 (或既有混凝土底梁) 和后浇混凝土组成，分两阶段成型的整体受力水平结构构件 (图 12.4)，其下半部分在工厂预制，上半部分在工地叠合浇筑混凝土。



图 12.3　预制混凝土框架柱

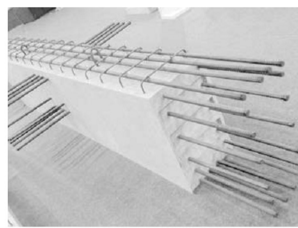


图 12.4　预制混凝土叠合梁

3. 预制混凝土剪力墙墙板

1) 预制混凝土剪力墙外墙板

预制混凝土剪力墙外墙板(图 12.5)是指在工厂预制而成的，内叶板为预制混凝土剪力墙、中间夹有保温层、外叶板为钢筋混凝土保护层的预制混凝土夹心保温剪力墙墙板，简称预制混凝土剪力墙外墙板。内叶板侧面在施工现场通过预留钢筋与现浇剪力墙边缘构件连接，底部通过钢筋灌浆套筒与下层预制剪力墙预留钢筋相连。

2) 预制混凝土剪力墙内墙板

预制混凝土剪力墙内墙板(图 12.6)是指在工厂预制成的混凝土剪力墙构件。预制混凝土剪力墙内墙板侧面在施工现场通过预留钢筋与现浇剪力墙边缘构件连接，底部通过钢筋灌浆套筒与下层预制剪力墙预留钢筋相连。

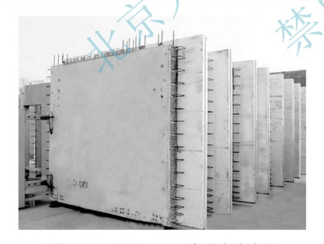


图 12.5　预制混凝土剪力墙外墙板



图 12.6　预制混凝土剪力墙内墙板

4. 预制混凝土叠合楼板

预制混凝土叠合楼板最常见的主要有两种：一种是预制混凝土钢筋桁架叠合板；另一种是预制带肋底板混凝土叠合楼板。

1) 预制混凝土钢筋桁架叠合板(图 12.7)

预制混凝土钢筋桁架叠合板属于半预制构件，下部为预制混凝土板，外露部分为桁架钢筋。预制混凝土叠合板的预制部分最小厚度为 3 ～ 6 cm。叠合楼板在工地安装到位后

应进行二次浇筑，从而成为整体实心楼板。钢筋桁架的主要作用是将后浇筑台混凝土层与预制底板形成整体，并在制作和安装过程中提供刚度。



图 12.7　预制混凝土钢筋桁架叠合板

2) 预制带肋底板混凝土叠合楼板 (图 12.8)

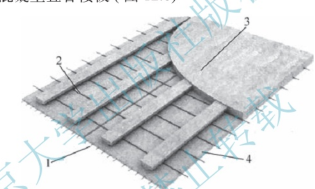


图 12.8　预制带肋底板混凝土叠合楼板

1—纵向预应力钢筋；2—横向穿孔钢筋；3—后浇层；4—PK 叠合板的预制底板

5. 预制混凝土楼梯板

预制混凝土楼梯板 (图 12.9) 受力明确、外形美观，避免了现场支模，安装后可作为施工通道，节约了施工工期。



图 12.9　预制混凝土楼梯板

6. 预制混凝土阳台板、预制混凝土空调板、预制混凝土女儿墙

1) 预制混凝土阳台板

预制混凝土阳台板 (图 12.10) 能够克服现浇阳台支模复杂，现场高空作业费时、费力，以及高空作业时的施工安全问题。



图 12.10　预制混凝土阳台板

2) 预制混凝土空调板

预制混凝土空调板通常采用预制实心混凝土板，板顶预留钢筋通常与预制叠合板现浇层相连。

3) 预制混凝土女儿墙

预制混凝土女儿墙处于屋顶处外墙的延伸部位，通常有立面造型，采用预制混凝土女儿墙的优势是安装快速，节省工期。

12.2.2 常用非承重预制混凝土构件

围护构件是指围合、构成建筑空间，抵御环境不利影响的构件，外围护墙用来抵御风雨、温度变化、太阳辐射等，应具有保温、隔热、隔声、防水、防潮、耐火、耐久等性能。预制内隔墙起分隔室内空间的作用，应具有隔声、隔视线以及某些特殊要求的性能。

1.PC 外围护墙板

PC 外围护墙板是指预制商品混凝土外墙构件，包括预制混凝土叠合 (夹心) 墙板、预制混凝土夹心保温外墙板和预制混凝土外墙挂板等。外围护墙板除应具有隔声与防火的功能外，还应具有隔热、保温、抗渗、抗冻融、防碳化等作用和满足建筑艺术装饰的要求。外围护墙板可采用轻集料单一材料制成，也可采用复合材料 (结构层、保温隔热层和饰面层) 制成。

PC 外围护墙板采用工厂化生产，现场进行安装的施工方法，具有施工周期短、质量可靠 (对防止裂缝、渗漏等质量通病十分有效)、节能环保 (耗材少、减少扬尘和噪声等)、工业化程度高及劳动力投入量少等优点，在国内外的住宅建筑上得到了广泛运用。

PC 外围护墙板生产中使用了高精密度的钢模板，模板的一次性摊销成本较高，如果施工建筑物外形变化不大，且外墙板生产数量大，模具通过多次循环使用后成本可以降低。



根据制作结构不同，预制外墙结构可分为预制混凝土夹心保温外墙板和预制混凝土非保温外墙挂板。

1) 预制混凝土夹心保温外墙板

预制混凝土夹心保温外墙板是集承重、围护、保温、防水、防火等功能于一体的重要装配式预制构件，由内叶墙板、保温材料、外叶墙板三部分组成 (图 12.11)。



图 12.11　预制混凝土夹心保温外墙板构造图

预制混凝土夹心保温外墙板宜采用平模工艺生产，生产时，一般先浇筑外叶墙板混凝土层，再安装保温材料和拉结件，最后浇筑内叶墙板混凝土，这可以使保温材料与结构同寿命。当采用立模工艺生产时，应同步浇筑内、外叶墙板混凝土层，并应采取保证保温材料及拉结件位置准确的措施。

2) 预制混凝土非保温外墙挂板

预制混凝土非保温外墙挂板是在预制车间加工并运输到施工现场吊装的钢筋混凝土外墙板的板底设置预埋铁件，通过与楼板上的预埋螺栓连接达到底部固定，再通过连接件达到顶部与楼板的固定 (图 12.12)。其在工厂采用工业化生产，具有施工速度快、质量好、维修费用低的特点。其根据工程需要可以设计成集外装饰、保温、墙体围护于一体的复合保温外墙挂板，也可以作为复合墙体的外装饰挂板。

预制混凝土非保温外墙挂板可充分体现大型公共建筑外墙独特的表现力。预制混凝土非保温外墙挂板必须具有防火、耐久性等基本性能，同时，还要求造型美观、施工简便、环保节能等。



图 12.12　预制混凝土非保温外墙挂板

2. 预制内隔墙板

预制内隔墙板按成型方式可分为挤压成型墙板和立模（平模）浇筑成型墙板两种。

1) 挤压成型墙板

挤压成型墙板，也称预制条形墙板，是在预制工厂将搅拌均匀的轻质材料料浆，使用挤压成型机通过模板（模腔）成型的墙板（图 12.13)。按断面不同，其可分为空心板、实心板两类。在保证墙板承载和抗剪的前提下，将墙体断面做成空心，可以有效降低墙体的自重，并通过墙体空心处空气的特性提高隔断房间内的保温、隔声效果。门边板端部为实心板，实心宽度不得小于 100mm。对于没有门洞的墙体，应从墙体一端开始沿墙长方向顺序排板；对于有门洞的墙体，应从门洞口开始分别向两边排板。当墙体端部的墙板不足一块板宽时，应设计补板。

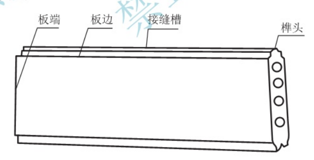


图 12.13　挤压成型空心墙板

2) 立模（平模）浇筑成型墙板

立模（平模）浇筑成型墙板，也称预制混凝土整体内墙板，是在预制车间按照所需的样式使用钢模具拼接成型，浇筑或摊铺混凝土制成的墙体。

根据受力不同，内墙板可使用单种材料或者多种材料加工而成。将聚苯乙烯泡沫板材、聚氨酯、无机墙体保温隔热材料等轻质材料填充到墙体中，可以减少混凝土用量，绿色环保，减少室内热量与外界的交换，增强墙体的隔声效果，并通过墙体自重的减轻来降低运输和吊装的成本。



模块小结

(1) 装配式结构是由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构，包括装配式混凝土结构、全装配混凝土结构等。

(2) 装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过各种可靠的连接方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的混凝土结构，简称装配整体式结构。

(3) 装配式混凝土框架结构，即全部或部分框架梁、柱采用预制构件构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式框架结构。

(4) 装配式混凝土剪力墙结构，即全部或部分剪力墙采用预制墙板构建而成的装配式混凝土结构，简称装配式剪力墙结构。

(5) 装配式混凝土框架－现浇剪力墙结构由装配整体式框架结构和现浇剪力墙(现浇核心筒)两部分组成。

(6) 装配式混凝土结构常用的预制构件有预制混凝土框架柱、预制混凝土叠合梁、预制混凝土剪力墙外墙板、预制混凝土剪力墙内墙板、预制混凝土钢筋桁架叠合楼板、预制带肋底板混凝土叠合楼板、预制混凝土楼梯板、预制混凝土阳台板、预制混凝土空调板、预制混凝土女儿墙、预制混凝土外墙挂板等。

(7) 常用非承重预制混凝土构件主要有：PC 外围护墙板，包括预制混凝土叠合(夹心)墙板、预制混凝土夹心保温外墙板和预制混凝土外墙挂板；预制内隔墙板，按成型方式可分为挤压成型墙板和立模(平模)浇筑成型墙板两种。



习　题

1. 判断题

(1) 装配式混凝土结构是指由预制混凝土构件通过各种可靠的方式进行连接并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体的混凝土结构，简称装配式结构。（　）

(2) 装配式框架结构是指全都或部分框架梁、柱采用预制构件构建而成的装配式混凝土结构。（　）

(3) 预制混凝土叠合楼板最常见的有两种：一种是预制混凝土钢筋桁架叠合板；另一种是预制带肋底板混凝土叠合楼板。（　）

2. 简答题

装配式混凝土结构常用的预制构件有哪些？





教学目标

通过本模块的学习，了解钢结构的组成、特点及应用范围；熟悉钢结构用钢材的品种、规格和选用原则；掌握钢结构的材料性能；掌握钢结构的连接方式；熟悉钢结构轴心受力构件、受弯构件的截面形式及稳定性。

教学要求

能力目标	相关知识	权重
掌握钢材的主要力学性能；了解钢材的两种破坏形式；掌握影响材料性能的主要因素	强度、塑性、冷弯性能、冲击韧性、可焊性，延性破坏、脆性破坏；化学成分等对其的影响	10%
了解钢材的种类、规格及其选用原则	各种规格的钢材，表示方法，选用原则	25%
了解钢结构连接的种类和特点；了解焊接方法；掌握焊缝连接形式及其计算；了解焊缝连接的缺陷、质量检验和焊缝质量级别；了解普通螺栓的排列和要求；熟悉高强螺栓连接的分类	焊接连接的形式及其构造要求，螺栓连接的形式及其构造要求	35%
了解轴心受力构件的分类；熟悉轴心受力构件在工程中的应用；了解强度和刚度的计算；掌握整体稳定性、局部稳定性的概念	轴心受力构件的类型：实腹式和格构式，轴心受力强度、刚度和稳定性的计算	15%
了解受弯构件的分类；熟悉受弯构件在工程中的应用；掌握稳定性的概念	梁的分类和稳定性	15%

学习重点

钢结构的材料性能；钢结构的连接方式；钢结构轴心受力构件的截面形式及稳定性；受弯构件的截面形式及稳定性。

引例

“鸟巢”是2008年北京奥运会主体育场。“鸟巢”外形结构主要由巨大的门式钢架组成，共有24根桁架柱。国家体育场建筑顶面呈鞍形，长轴为332.3 m，短轴为296.4 m，最高点高度为68.5 m，最低点高度为42.8 m。大跨度屋盖支撑在24根桁架柱之上，柱距为37.96 m。主桁架围绕屋盖中间的开口放射形布置，有22榀主桁架直通或接近直通。为了避免出现过于复杂的节点，少量主桁架在内环附近截断。钢结构大量采用由钢板焊接而成的箱形构件，交叉布置的主桁架与屋面及立面的次结构一起形成了“鸟巢”的特殊建筑造型。

大家知道的知名的钢结构建筑物有哪些？它们有什么建筑特色？

13.1　钢结构的特点及应用范围

钢结构是将钢板、圆钢、钢管、钢索、各种型钢等钢材经过加工、连接、安装而组成的工程结构。钢结构是具有足够可靠性和良好社会经济效益的工程结构物和构筑物。在我国发展前景广阔。

13.1.1　钢结构的特点

(1) 钢材强度高而自重轻（轻质高强）。钢的容重大，但强度高，结构需要的构件截面小，因此结构自重轻。与其他材料相比，钢的容重与屈服点的比值最小。在承受同样荷载和约束的条件下，采用钢材时结构的自重比其他结构轻。例如，当跨度和荷载均相同时，钢屋架的自重仅为钢筋混凝土屋架的1/4 ～ 1/3，冷弯薄壁型钢屋架甚至接近1/10。由于钢结构自重较轻，便于运输和安装，因此其特别适用于跨度大、高度高、荷载大的结构。

(2) 材质均匀，且塑性、韧性好。与砖石和混凝土相比，钢材属单一材料，组织构造比较均匀，且接近各向同性，在正常使用情况下具有良好的塑性，一般情况下钢结构不会由于偶然超载而突然断裂，给人以安全保证；韧性好，说明钢材具有良好的动力工作性能，使得钢结构具有优越的抗震性能。

(3) 良好的焊接性能。进行工地拼接和吊装，既可保证工程质量，又可缩短施工周期。

(4) 钢结构制作简便、施工方便，具有良好的装配性。钢结构由各种型材采用机械加工在专业化的金属结构厂制作而成，制作简便且成品的精确度高，制成的构件在现场可直接拼接，因其构件质量较轻、施工方便，建成的钢结构也易于拆卸、加固或改建，应用十分广泛。另外，采用工厂制造、工地安装的施工方法，可缩短工期、降低造价、提高经济效益。

(5) 钢材的可重复使用性。钢结构加工制造过程中产生的余料和碎屑，以及废弃或破坏了的钢结构或构件，均可回炉重新冶炼成钢材重复使用。因此钢材被称为绿色建筑材料或可持续发展材料。

(6) 钢材的不渗漏适用于密闭容器。钢材本身因组织非常致密，采用焊接连接的钢板结构具有较好的水密性和气密性，可用来制作压力容器、管道，甚至载人太空船结构。

(7) 钢材耐热但不耐火。钢材长期经受 100℃辐射热时，性能变化不大，具有一定的耐热性能。但当温度超过 200℃时，会出现蓝脆现象；当温度达 600℃时，钢材进入热塑性状态，将丧失承载能力。因此，在有防火要求的建筑中采用钢结构时，必须采用耐火材料加以保护。

(8) 耐腐蚀性差。钢材耐锈蚀的性能较差，因此必须对钢结构采取防护措施。不过在没有侵蚀性介质的一般厂房中，钢构件经过彻底除锈并涂上合格的油漆后，锈蚀问题并不严重。对处于湿度大、有侵蚀性介质环境中的结构，可采用耐候钢或不锈钢提高其抗锈蚀性能。

(9) 钢结构的低温冷脆倾向。由厚钢板焊接而成的承受拉力和弯矩的构件及其连接节点，在低温下有脆性破坏的倾向，应引起足够的重视。

13.1.2 钢结构的应用

随着我国国民经济的不断发展和科学技术的进步，钢结构在我国的应用范围也在不断扩大。目前钢结构应用范围大致如下。

1. 大跨结构

结构跨度越大，自重在荷载中所占的比例就越大。由于钢材具有强度高、自重轻的优点，故其被广泛应用于大跨度结构，如国家体育场、武汉长江大桥等。

2. 工业厂房

吊车起重量较大或者其工作较繁重的车间的主要承重骨架多采用钢结构，鞍钢、武钢、宝钢等结构著名的冶金车间都采用了不同规模的钢结构厂房。

近年来，随着压型钢板等轻型屋面材料的采用，轻钢结构工业厂房得到了迅速的发展。其结构形式主要为实腹式变截面门式刚架，如图 13.1 所示。





【钢结构建筑】

图 13.1 门式刚架

3. 多层和高层建筑

由于钢结构的综合效益指标优良，近年来在多高层民用建筑中也得到了广泛的应用。其结构形式主要有多层框架、框架－支撑结构、框筒、悬挂、巨型框架等。



4. 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构，如高压输电线路的塔架、广播、通信和电视发射用的塔架和桅杆、火箭（卫星）发射塔架等。

5. 容器和其他构筑物

冶金、石油、化工企业中大量采用钢板做成的容器结构，包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外，经常使用的钢构筑物还有皮带通廊栈桥、管道支架、锅炉支架等，海上采油平台也大都采用钢结构。

6. 钢和混凝土的组合结构

钢构件和板件受压时必须满足稳定性要求，往往不能充分发挥它的强度高的作用，而混凝土则最宜于受压不适于受拉。将钢材和混凝土并用，使两种材料都充分发挥它的长处，形成一种很合理的结构。近年来这种结构广泛应用于高层建筑（如深圳的赛格广场）、大跨桥梁、工业厂房和地铁站台柱等，主要构件形式有钢与混凝土组合梁和钢管混凝土柱等。

13.2 钢结构材料

引例

2001年9月11日，恐怖分子劫持了4架民航客机撞击美国纽约世界贸易中心，世贸中心的两幢110层摩天大楼遭到攻击，仅仅半小时后两个大楼相继坍塌。

思考：采用钢结构的两个大楼为什么在飞机撞击后半小时内完全破坏，是由于飞机的撞击力量过大引起的破坏？还是其他原因引起的破坏？

钢是以铁和碳为主要成分的合金，其中铁是最基本的元素，碳和其他元素所占比例很少，但却左右着钢材的物理和化学性能。为了确保质量和安全，这些钢材应具有较高的强度、塑性和韧性，以及良好的加工性能。《钢结构设计标准》推荐碳素结构钢中的Q235和低合金高强度结构钢中的Q345、Q390、Q420、Q460和Q345GT等牌号的钢材作为承重结构用钢。

13.2.1 建筑钢材的破坏形式

钢材的破坏形式分为塑性（延性）破坏和脆性破坏。

(1) 塑性破坏的特征是钢材在断裂破坏时产生很大的塑性变形，又称延性破坏，其断口呈纤维状，色泽发暗，有时能看到滑移的痕迹。钢材的塑性破坏可通过一种标准圆棒试件进行拉伸破坏试验加以验证。钢材在发生塑性破坏时变形特征明显，很容易被发现并及时采取补救措施，因而不致引起严重后果，而且适度的塑性变形能起到调整结构内力分布的作用，使原先结构应力不均匀的部分趋于均匀，从而提高结构的承载能力。

(2) 脆性破坏的特征是钢材在断裂破坏时没有明显的变形征兆，其断口平齐，呈有光泽的晶粒状。由于脆性破坏无显著变形，破坏突然发生、无法预测，故其造成的危害和损失往往比延性破坏大得多，在钢结构工程设计、施工与安装中应采取适当措施尽力避免。

13.2.2 建筑钢材的力学性能

钢材的主要力学性能包括强度、塑性、韧性和冷弯性能，它们是钢结构设计的重要依据，这些性能指标主要靠试验来测定。

1. 拉伸试验

建筑钢材的强度和塑性一般由常温静载下单向拉伸试验曲线表明。钢材的单向拉伸试验所得的屈服强度 f_y、抗拉强度 f_u 和伸长率 δ 是钢材力学性能要求的三项重要指标。

1) 强度

钢结构设计中，将钢材达到屈服强度 f_y 作为承载能力极限状态的标志。钢材的抗拉强度 f_u 是钢材抗破坏能力的极限。

钢材的屈服点与抗拉强度之比，f_y/f_u 称为屈强比，它是表明设计强度储备的一项重要指标，f_y/f_u 越大，强度储备越小，结构越不安全；反之，f_y/f_u 越小，强度储备越大，结构越安全，强度利用率低且不经济。因此，在设计中要选用合适的屈强比。

2) 塑性

钢材的伸长率 δ 是反映钢材塑性的指标之一。其值越大，钢材破坏吸收的应变能越多，塑性越好。建筑用钢材不仅要求强度高，还要求塑性好，能够调整局部高应力，提高结构抗脆断能力。

2. 冷弯性能

冷弯性能又称弯曲试验，它是将钢材按原有厚度做成标准试件，放在如图 13.2 所示的冷弯试验机上，用具有一定弯心直径 d 的冲头，在常温下对标准试件中部施加荷载，使之弯曲达 180°，然后检查试件表面，如果不出现裂纹和起层，则认为试件材料冷弯试验合格。冲头的弯心直径 d 根据试件厚度和钢种确定，一般厚度越大，d 也越大。

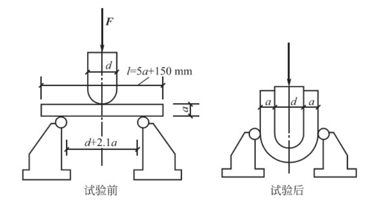


图 13.2　冷弯试验

3. 韧性

实际的钢结构常常会承受冲击或振动荷载，如厂房中的吊车梁、桥梁结构等。韧性是

指钢材抵抗冲击或振动荷载的能力，其衡量指标称为冲击韧性。冲击韧性值由冲击试验求得，如图 13.3 所示。试件破坏时吸收的能量越多，抵抗脆性破坏的能力越强，韧性越好。冲击韧性值是衡量钢材强度、塑性及材质的一项综合指标。

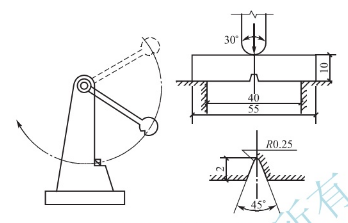


图 13.3　冲击韧性试验

13.2.3 影响钢材性能的主要因素

1. 化学成分的影响

钢结构主要采用碳素结构钢和低合金结构钢。钢的主要成分是铁 (Fe)。碳素结构钢中铁含量占 99% 以上，其余是碳 (C)、硅 (Si)、锰 (Mn) 及硫 (S)、磷 (P)、氧 (O)、氮 (N) 等冶炼过程中留在钢中的杂质元素。在低合金高强度结构钢中，冶炼时人们还特意加入少量合金元素，如钒 (V)、铜 (Cu)、铬 (Cr)、钼 (Mo) 等。这些合金元素通过冶炼工艺以一定的结晶形态存在于钢中，可以改善钢材的性能。

1) 碳 (C)

碳是各种钢中的重要元素之一，在碳素结构钢中是除铁以外的最主要元素。碳是形成钢材强度的主要成分，随着含碳量的提高，钢的强度逐渐增高，而塑性和韧性下降，冷弯性能、焊接性能和抗锈蚀性能等也变差。钢按碳的含量区分，小于 0.25% 的为低碳钢，大于 0.25% 而小于 0.6% 的为中碳钢，大于 0.6% 的为高碳钢。

2) 硫 (S)

硫是有害元素，属于杂质。硫会降低钢材的冲击韧性、疲劳强度、抗锈蚀性能和焊接性能等。硫的含量必须严格控制，一般不得超过 0.05%。

3) 磷 (P)

磷可以提高钢的强度和抗锈蚀性，但却严重地降低了钢的塑性、韧性、冷弯性能和焊接性能，特别是在温度较低时促使钢材变脆，称为钢材的“冷脆”。

4) 锰 (Mn)

锰是有益的元素，它能显著提高钢材的强度，同时又不显著降低塑性和冲击韧性。我国低合金钢中锰的含量一般为 0.1% ～ 1.8%。

5) 硅 (Si)

硅也是有益元素，有更强的脱氧作用，是强氧化剂。硅在镇静钢中的含量一般为

0.12% ~ 0.30%，在低合金钢中的含量一般为 0.2% ~ 0.55%。

6) 氧 (O)、氮 (N)

氧和氮也是有害元素，氧能使钢热脆，氮能使钢冷脆。

2. 钢材的焊接性能

钢材的焊接性能是指在一定的焊接工艺条件下获得性能良好的焊接接头。

知识链接

评定可焊性好的标志：

(1) 在一定的焊接工艺条件下，焊缝和近缝区均不产生裂纹 (施工上的可焊性)；

(2) 焊接接头和焊缝的冲击韧性及近缝区塑性不低于母材性能 (使用性能上的可焊性)。

3. 冶炼与轧制

根据冶炼过程中脱氧程度不同，钢材可分为镇静钢、半镇静钢、特殊镇静钢和沸腾钢，脱氧程度越高，钢材性能越好。钢材的轧制是在 1200 ~ 1300℃高温下进行的。轧制能使金属晶粒变细，消除气泡和裂纹等。

4. 温度影响

温度升高时，钢材的强度和弹性模量变化的总趋势是降低的。当温度低于常温时，随着温度的降低，钢材的强度提高，而塑性和韧性降低，逐渐变脆，称为钢材的低温冷脆。

5. 构造缺陷——应力集中现象

钢结构的构件中不可避免地存在孔洞、槽口、凹角、裂纹、厚度变化、形状变化及内部缺陷等，统称为构造缺陷。由于构造缺陷，钢材中的应力不再保持均匀分布，而是在构造缺陷区域的某些点产生局部高峰应力，而其他一些点的应力则降低，这种现象称为应力集中。应力集中是构成构件脆性破坏的主要原因之一。

13.2.4 钢结构用钢材的种类、规格与选用

1. 建筑钢材的种类

建筑结构用钢的钢种主要是碳素结构钢和低合金钢两种。在碳素结构钢中，建筑钢材只使用低碳钢 (含碳量不大于 0.25%)。低合金钢是在冶炼碳素结构钢时添加一些合金元素炼成的钢，目的是提高钢材的强度、冲击韧性、耐腐蚀性等，而不致过多降低其塑性。

1) 碳素结构钢

国家标准《碳素结构钢》(GB/T 700—2006) 将碳素结构钢按屈服点数值分为五个牌号：Q195、Q215、Q235、Q255 及 Q275。《钢结构设计标准》中所推荐的碳素结构钢是 Q235 钢，含碳量在 0.22% 以下，属于低碳钢，钢材的强度适中，塑性、韧性均较好。该牌号钢材又根据化学成分和冲击韧性的不同划分为 A、B、C、D 共四个质量等级，表示质量等级由低到高。

《碳素结构钢》标准中钢材牌号表示方法由字母 Q、屈服点数值 (单位 N/mm^2)、质量等级代号 (A、B、C、D) 及脱氧方法代号 (F、B、Z、TZ)4 个部分组成。Q 是“屈”字汉语拼音的首位字母，质量等级中以 A 级最差、D 级最优，F、B、Z、TZ 则分别是

“沸”“半”“镇”及“特、镇”汉语拼音的首位字母，分别代表沸腾钢、半镇静钢、镇静钢及特殊镇静钢，其中代号 Z、TZ 可以省略。Q235 中 A、B 级有沸腾钢、半镇静钢及镇静钢，C 级全部为镇静钢，D 级全部为特殊镇静钢。例如，Q235B 代表屈服强度为 235、单位为 N/mm^2 的 B 级镇静钢。

2) 低合金高强度结构钢

《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008) 将低合金高强度结构钢按屈服点数值分为八个牌号：Q345、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620 及 Q690，所推荐的低合金高强度结构钢是 Q345、Q390、Q420 钢。

《低合金高强度结构钢》中钢材牌号就只由 Q、屈服点数值及质量等级三个部分组成，其中质量等级有 A、B、C、D 、E 共五个级别，字母顺序越靠后的钢材质量越高。A、B 级为镇静钢，C、D 、E 为特殊镇静钢，故可不加脱氧方法的符号。

3) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢与碳素结构钢的主要区别在于钢中含杂质较少，磷、硫等有害元素的含量均不大于 0.035%，其他缺陷的限制也较严格，具有较好的综合性能。优质碳素结构钢由于价格较高，在钢结构中使用较少，仅用经热处理的优质碳素结构钢冷拔高强度钢丝或制作高强螺栓、自攻螺钉等。

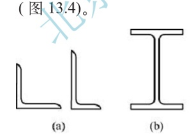
2. 钢材的规格

钢结构采用的钢材品种主要为热轧钢板和型钢以及冷弯薄壁型钢和压型板。

(1) 钢板。钢板分厚钢板、薄钢板和扁钢，其规格用符号“—”和宽度 × 厚度 × 长度的毫米数表示。如－ 300×10×3000 表示宽度为 300 mm、厚度为 10 mm、长度为 3000 mm 的钢板。

(2) 热轧型钢。常用的热轧型钢有角钢、H 形钢、工字钢、槽钢、T 形钢和钢管（图 13.4)。


【钢结构材料】





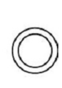

(a) (b) (c) (d) (e) (f)

图 13.4　热轧型钢

角钢分等边角钢和不等边角钢两种，等边角钢的型号用符号“∟”和肢宽 × 肢厚的毫米数表示，如∟100×10 为肢宽 100 mm、肢厚 10 mm 的等边角钢。不等边角钢的型号用符号“∟”和长肢宽 × 短肢宽 × 肢厚的毫米数表示，如∟100 × 80 ×8 为长肢宽 100 mm、短肢宽 80 mm、肢厚 8 mm 的不等边角钢。我国目前生产的最大等边角钢的肢宽为 200 mm，最大不等边角钢的肢宽为 200 mm×125 mm。角钢的长度一般为 3 ～ 19 m。

工字钢型号用符号“工”后加截面高度的厘米数表示。20 号和 32 号以上的普通工字钢，同一高度的工字钢又按腹板厚度不同分 a、b 和 a、b、c 类型。同类的普通工字钢宜尽量选用腹板厚度最薄的 a 类，因为其自重轻，而截面惯性矩相对较大。我国生产的最大

普通工字钢为 63 号，长度为 5 ～ 19 m。工字钢一般宜用于单向受弯构件。

H 形钢和 T 形钢均分为宽、中、窄三种类别，其代号分别为 HW、HM、HN 和 TW、TM、TN。宽翼缘 H 形钢的翼缘宽度 b 与其截面高度 h 一般相等，中翼缘的$b\approx(\frac{1}{2}\sim\frac{2}{3})h$，窄翼缘的$b\approx(\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2})h$。H 形钢和 T 形钢的规格标记均采用截面高度 $h\times$ 翼缘宽度 $b\times$ 腹板厚度 $t_1\times$ 翼缘厚度 t_2，如 HW400 × 400 × 13 × 21。

槽钢有普通槽钢和轻型槽钢两种，适于做檩条等双向受弯的构件。槽钢型号用符号“[”加截面高度的厘米数。14 号和 25 号以上的普通槽钢，又按腹板厚度不同分 a、b 和 a、b、c 类型，如 [32a 指截面高度为 320 mm，腹板较薄的槽钢。我国生产的最大槽钢为 40 号，长度为 5 ～ 19 m。

钢管分无缝钢管和焊接钢管两种，型号用“D”和外径 × 壁厚的毫米数表示，如 D180 × 8 为外径 180 mm、壁厚 8 mm 的钢管。

(3) 冷弯型钢和压型钢板。建筑中使用的冷弯型钢常用厚度为 1.5 ～ 5 mm 的薄钢板或钢带经冷轧 (弯) 或模压而成，故也称冷弯薄壁型钢 (图 13.5)。另外，还有用厚钢板 (大于 6 mm) 冷弯成的方管、矩形管、圆管等，称为冷弯厚壁型钢。压型钢板是冷弯型钢的另一种形式，它是用厚度为 0.3 ～ 2 mm 的镀锌或镀铝锌钢板、彩色涂层钢板经冷轧 (压) 成的各种类型的波形板，图 13.6 所示为其中数种。冷弯型钢和压型钢板分别适用于轻钢结构的承重构件和屋面、墙面构件。冷弯薄壁型钢和压型钢板都属于高效经济截面，由于壁薄，截面几何形状开展，截面惯性矩大、刚度好，故能高效地发挥材料的作用，节约钢材。

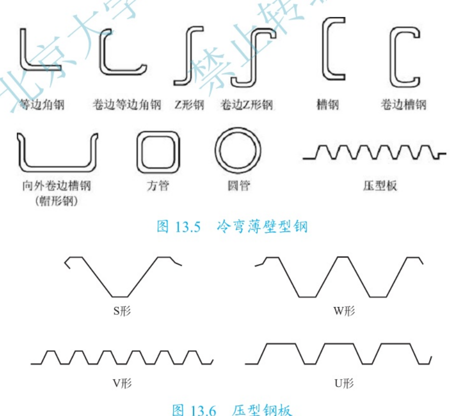


图 13.5　冷弯薄壁型钢

图 13.6　压型钢板

3. 钢材的选用

钢材的选用原则是保证结构安全可靠，同时要经济合理、节约钢材。考虑的因素有以下几个。

1) 结构的重要性

首先应判明建筑物及其构件的分类 (重要、一般还是次要) 及安全等级 (一级、二级还是三级)。

2) 荷载情况

要考虑结构所受荷载的特性，如是静荷载还是动荷载，是直接动载还是间接动载。

3) 连接方法

需考虑钢材的采用焊接连接还是非焊接连接形式，以便选择符合实际要求的钢材。

4) 结构的工作温度

需考虑结构的工作温度及周围环境中是否有腐蚀性介质。

5) 钢材厚度

对需要选用厚度较大的钢材，应考虑厚度方向撕裂性能的因素，而决定是否选择 Z 向钢。

6) 环境条件

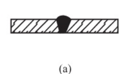
需考虑结构的工作温度及周围环境是否有腐蚀介质。

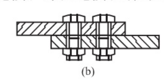
13.3 钢结构连接

13.3.1 钢结构的连接方法和特点



钢结构的连接方法有焊缝连接、螺栓连接和铆钉连接三种 (图 13.7)。


(a)


(b)

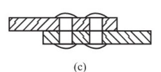

(c)

图 13.7 钢结构的连接方法

(a) 焊缝连接；(b) 螺栓连接；(c) 铆钉连接

1. 焊缝连接


【焊接、螺栓连接】

焊缝连接是通过电弧产生的热量使焊条和焊件局部熔化，经冷却凝结成焊缝，从而将焊件连接成为一体，是现代钢结构连接中最常用的方法。其优点是构造简单，制造省工；不削弱截面，经济；连接刚度大，密闭性能好；易采用自动化作业，生产效率高。其缺点是焊缝附近有热影响区，该处材质变脆；焊接结构对裂纹很敏感，裂缝易扩展，尤其在低温下易发生脆断。

2. 螺栓连接

螺栓连接可以分为普通螺栓连接和高强度螺栓连接两种。普通螺栓通常采用 Q235 钢材制成，安装时用普通扳手拧紧；高强度螺栓则用高强度钢材经热处理制成，用能控制螺栓杆的扭矩或拉力的特制扳手，拧紧到规定的预拉应力值，将被连接件高度夹紧。所以，螺栓连接是通过螺栓这种紧固件将被连接件连接成为一体的。

螺栓连接的优点是施工工艺简单、安装方便，特别适用于工地安装连接，工程进度和质量易得到保证。其缺点是因开孔对构件截面有一定的削弱，有时在构造上还须增设辅助连接件，故用料增加，构造较繁杂。此外，螺栓连接须制孔，拼装和安装时须对孔，工作量增加，且对制造的精度要求较高，但它仍是钢结构连接的重要方式之一。

1) 普通螺栓连接

普通螺栓分 A、B、C 共三级。其中 A 级和 B 级为精制螺栓，其螺栓材料性能等级为 5.6 级和 8.8 级，小数点前的数字表示螺栓成品的抗拉强度分别不小于 500 N/mm^2 和 800 N/mm^2，小数点及小数点后的数字表示屈强比 (屈服强度与抗拉强度的比值) 分别为 0.6 和 0.8。精制螺栓要求配 I 类孔， I 类孔孔壁光滑，对孔准确。但其制作和安装复杂、价格较高，已很少在钢结构中采用。

C 级螺栓材料性能等级为 4.6 级或 4.8 级。抗拉强度不小于 400 N/mm^2，其屈强比 (屈服强度与抗拉强度的比值) 为 0.6 或 0.8。C 级螺栓由未加工的圆钢压制而成。由于螺栓表面粗糙，一般采用在单个零件上一次冲成或不用钻模钻成的孔 (II 类孔)。螺栓孔的直径比螺栓杆的直径大 1.5 ～ 2 mm。其安装方便，且能有效地传递拉力，故一般可用于沿螺栓杆轴受拉的连接中，以及次要结构的抗剪连接或安装时的临时固定。

2) 高强度螺栓连接

高强度螺栓材料性能等级分别为 8.8 级和 10.9 级，抗拉强度应分别不低于 800 N/mm^2 和 1000 N/mm^2，屈强比分别为 0.8 和 0.9，一般采用 45 号钢、40B 钢和 20MnTiB 钢加工制作，经热处理后制成。

高强度螺栓分为大六角头型和扭剪型。安装时通过特别的扳手，以较大的扭矩拧紧螺帽，使螺栓杆产生很大的预拉力。高强螺栓连接有摩擦型连接和承压型连接两种类型。高强度螺栓预拉力将被连接的部件加紧，使部件的接触面间产生很大的摩擦力，外力通过摩擦力来传递，这种连接称为高强度螺栓摩擦型连接，摩擦型连接的孔径比螺杆的公称直径 d 大 1.5 ～ 2.0 mm。另一种是允许接触面滑移，依靠螺栓杆和螺栓孔之间的承压来传力，这种连接称为高强度螺栓承压型连接，承压型连接的孔径比螺杆的公称直径 d 大 1.0 ～ 1.5 mm。

3. 铆钉连接

铆钉连接由于构造复杂、费钢费工，现已很少采用。但是铆钉连接的塑性和韧性较好、传力可靠、质量易于检查，在一些重型和直接承受动力荷载的结构中仍然采用。

13.3.2 焊缝连接

1. 焊缝方法

常用的焊缝方法是电弧焊，包括手工电弧焊、自动或半自动埋弧焊及气体保护焊等。

1) 手工电弧焊

图 13.8 是手工电弧焊示意图。它是由焊条、焊钳、焊件、电焊机和导线等组成的电路，通电引弧后，在涂有焊药的焊条端和焊件间的间隙中产生电弧，使焊条熔化，熔滴滴入被电弧吹成的焊件熔池中，同时焊药燃烧，在熔池周围形成保护气体，稍冷后在焊缝熔化金属的表面又形成熔渣。

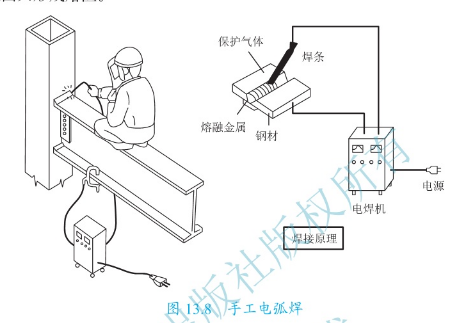


图 13.8 手工电弧焊

手工焊常用的焊条有碳钢焊条和低合金钢焊条，其牌号有 E43 型、E50 型和 E55 型等。其中 E 表示焊条，两位数字表示焊条熔敷金属抗拉强度的最小值 (单位为 N/mm^2)。手工焊接采用的焊条应符合国家标准的规定。在选用焊条时，其应与主体金属相匹配。一般情况下，对 Q235 钢采用 E43 型焊条，对 Q345、Q390 钢采用 E50、E55 型焊条，对 Q420 钢采用 E55、E60 型焊条。当不同强度的两种钢材进行连接时，宜采用与低强度钢材相适应的焊条。

2) 自动或半自动埋弧焊

自动或半自动埋弧焊的原理如图 13.9 所示。其特点是焊丝成卷装置在焊丝转盘上，焊丝外表裸露不涂焊剂 (焊药)。焊剂呈散状颗粒装置在焊剂漏斗中，通电引弧后，当电弧下的焊丝和附近焊件金属熔化时，焊剂也不断从漏斗流下，将熔融的焊缝金属覆盖，其中部分焊剂将熔成焊渣浮在熔融的焊缝金属表面。由于有覆盖层，焊接时看不见强烈的电弧光，故称为埋弧焊。当埋弧焊的全部装备固定在小车上，由小车按规定速度沿轨道前进进行焊接时，这种方法称为自动埋弧焊。如果焊机的移动是由人工操作的，则称为半自动埋弧焊。

3) 气体保护焊

气体保护焊的原理是在焊接时用喷枪喷出的惰性气体将电弧、熔池与大气隔离，从而保持焊接过程的稳定。由于焊接时没有熔渣，故气体保护焊便于观察焊缝的成型过程，但操作时须在室内避风处，若在工地施焊则须搭设防风棚，如图 13.10 所示。

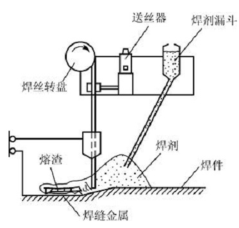


图 13.9 埋弧自动电弧焊

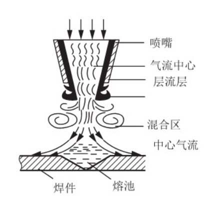
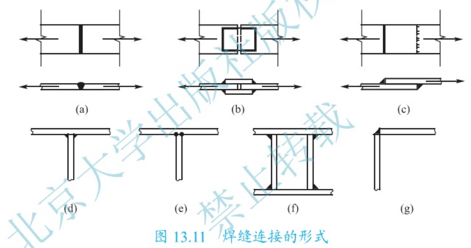


图 13.10 气体保护焊

2. 焊缝连接形式及焊缝形式

(1) 焊缝连接形式按所连接构件相对位置可分为对接、搭接、T 形连接、角部连接四种类型 (图 13.11)。这些连接所用的焊缝有对接焊缝和角焊缝两种基本形式。



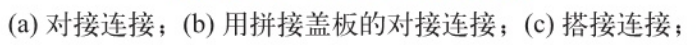


图 13.11 焊缝连接的形式

(a) 对接连接；(b) 用拼接盖板的对接连接；(c) 搭接连接；

(d)、(e) T 形连接；(f)、(g) 角部连接

(2) 焊缝形式：焊缝包括对接焊缝和角焊缝，每一种又有多种分类形式，形式各不相同。

对接焊缝按受力的方向分为正对接焊缝、斜对接焊缝。与作用力方向正交的对接焊缝称为正对接焊缝 [图 13.12(a)]；与作用力方向斜交的对接焊缝称为斜对接焊缝 [图 13.12(b)]。

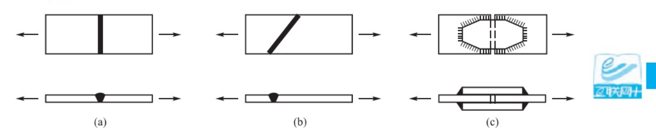


图 13.12 焊缝形式

(a) 正对接连接；(b) 斜对接焊缝；(c) 角焊缝

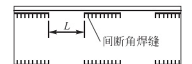


角焊缝 [图 13.12(c)] 按所受力的方向分为正面角焊缝、侧面角焊缝和斜角焊缝。轴线与力作用方向垂直的角焊缝称为正面角焊缝；轴线与力作用方向平行的角焊缝称为侧面角焊缝；轴线与力作用方向斜交的角焊缝称为斜角焊缝。

角焊缝按沿长度方向的布置分为连续角焊缝、间断角焊缝 (图 13.13)。







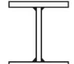
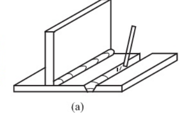


图 13.13　连接角焊缝和间断角焊缝

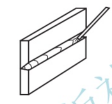
间断角焊缝间断距离 L 不宜过长，以免连接不紧密使潮气侵入，引起构件腐蚀。一般在受压构件中 $L \leqslant 15t$，在受拉构件中 $L \leqslant 30t$ (t 为较薄焊件的厚度)。

焊缝按施焊位置分为平焊、横焊、立焊及仰焊 (图 13.14)。

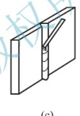




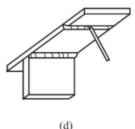
(a)



(b)



(c)



(d)

图 13.14　焊缝施焊位置

(a) 平焊；(b) 横焊；(c) 立焊；(d) 仰焊



特别提示

平焊施焊方便；横焊和立焊对焊工的操作水平要求较高；仰焊的操作条件最差，焊缝质量不易保证，在焊接中应尽量避免。

3. 焊缝连接的缺陷、质量检验和焊缝质量级别

焊缝连接的缺陷是指在焊接过程中，产生于焊缝金属或附近热影响区钢材表面或内部的缺陷。最常见的缺陷有裂纹、焊瘤、烧穿、弧坑、气孔、夹渣、咬边、未熔合、未焊透 (规定部分焊透者除外) 及焊缝外形尺寸不符合要求等 (图 13.15)。它们将直接影响焊缝质量和连接强度，使焊缝受力面积削弱，且在缺陷处引起应力集中，导致产生裂纹，并引起断裂。

焊缝的质量检验方法一般可用外观检查和内部无损检验。焊缝质量按《钢结构工程质量验收规范》(GB 50205—2001) 分为三级，其中三级焊缝只要求对全部焊缝做外观检查；二级焊缝除要求对全部焊缝做外观检查外，还须对部分焊缝做超声波等无损探伤检查；一级焊缝要求对全部焊缝做外观检查及无损探伤检查。

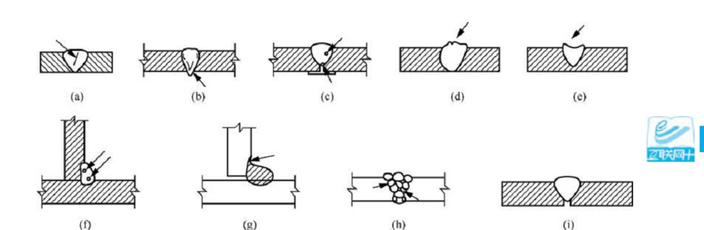


图 13.15 焊缝缺陷

(a) 裂纹；(b) 烧穿；(c) 气孔；(d) 焊瘤；(e) 弧坑；(f) 夹渣；(g) 咬边；(h) 未熔合；(i) 未焊透



知识链接

焊接质量控制

(1) 焊工资质：持证上岗，合格焊位。

(2) 焊接工艺：焊接材料烘干、防潮，清理焊面，焊件定位；焊前焊后进行热处理，保证焊接环境温度、湿度、防风避雨；控制焊接过程温度。

(3) 焊接质量检验：焊接表面质量，无损探伤检验。

13.3.3 对接焊缝的构造要求与计算

1. 对接焊链的构造要求

对接焊缝包括焊头对接焊缝和部分焊头对接焊缝。为了保证焊缝质量，对接焊件常做成坡口。坡口的形式大多与焊件的厚度有关。当焊件厚度很小 (手工焊 6 mm、埋弧焊 10 mm) 时，可采用直边缝。对于一般厚度的焊件，可采用具有斜坡口的单边 V 形或 V 形焊缝。斜坡口和根部间隙共同组成一个焊条能够运转的施焊空间，使焊缝易于焊透；钝边有托住熔化金属的作用。对于较厚的焊件 (t>20 mm)，则采用 U 形、K 形、X 形坡口，如图 13.16 所示。

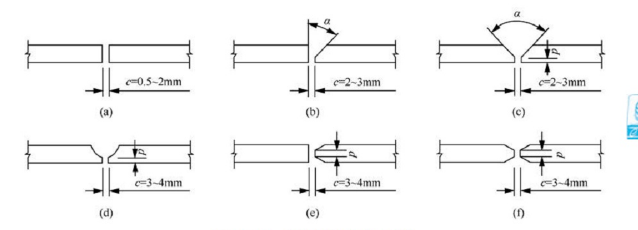


图 13.16 对接焊缝的坡口形式

(a) 直边缘；(b) 单边 V 形坡口；(c)V 形坡口；(d)U 形坡口；(e)K 形坡口；(f)X 形坡口

其中 V 形焊缝和 U 形焊缝为单面施焊，但在焊缝根部还需要补焊。没有条件补焊时，要事先在根部加垫块，如图 13.17 所示。当焊件可随意翻转施焊时，使用 K 形缝和 X 形缝较好。

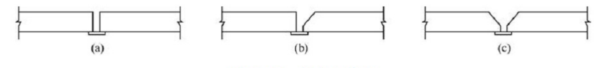


图 13.17　根部加垫块

(a) 直边缝；(b) 单边 V 形坡口；(c) 双边 V 形坡口

在对接焊缝的拼接处，当焊件的宽度不同或厚度相差 4 mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡渡不大于 1/4(对承受动荷载的结构) 或 1/2.5(对承受静荷载的结构)，以使截面过渡缓和，减小应力集中，如图 13.18 所示。

在焊缝的起弧灭弧处，常会出现弧坑等缺陷，这些缺陷对承载力影响极大，故焊接时一般应设置引弧板或引出板，焊后割除，如图 13.19 所示。

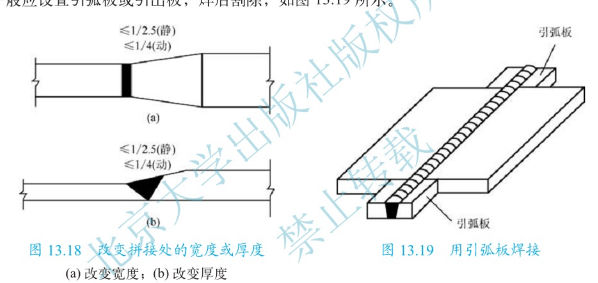


图 13.18　改变拼接处的宽度或厚度

(a) 改变宽度；(b) 改变厚度

图 13.19　用引弧板焊接

2. 对接焊缝连接的计算

对接焊缝的截面与被连接件截面基本相同，故设计时采用的强度计算式与被连接件的基本相同。轴心受力对接焊缝的计算如下。

图 13.20(a) 所示对接焊缝受垂直于焊缝长度方向的轴心力 (拉力或压力)，其焊缝强度按式 (13-1) 计算：

$$\sigma=\frac{N}{l_{w}t}\leqslant f_{t}^{w}\text{或}f_{c}^{w} \tag{13-1}$$

式中，N——轴心拉力或压力；

l_w——焊缝的计算长度，当采用引弧板时，取焊缝的实际长度，当未采用引弧板时，每条焊缝取实际长度减去 $2t$；

t——取连接件的较小厚度，T 形连接中为腹板厚度；

f_t^w、f_c^w——对接焊缝的抗拉和抗压强度设计值。

当直焊缝不能满足强度要求时，可采用斜对接焊缝，如图 13.20(b) 所示。

$$\sigma=\frac{N\sin\theta}{l_w t}\leqslant f_t^w 或 f_c^w$$
$$\tau=\frac{N\cos\theta}{l_w t}\leqslant f_v^w \quad (13\text{-}2)$$

式中，l_w——焊缝的计算长度(当采用引弧板时，$l_w=l/\sin\theta$；当未采用引弧板时，每条焊缝 $l_w=l/\sin\theta-2t$)；

f_v^w——对接焊缝抗剪强度设计值。

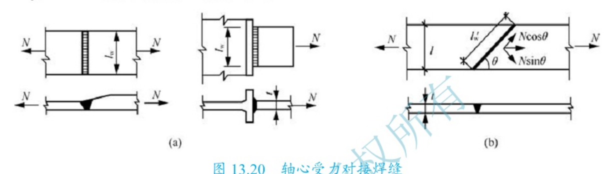


图 13.20　轴心受力对接焊缝

(a) 直对接焊缝连接；(b) 斜对接焊缝连接


特别提示

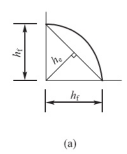
(1) 在一般加引弧板的情况下，所有受压、受剪的对接焊缝以及受拉的一、二级焊缝均与母材强度相等，不用进行强度计算，只有受拉的三级焊缝才需要进行计算。

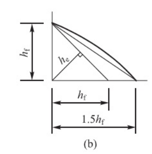
(2) 当斜焊缝倾角 $\theta\leqslant 56°$，即 $\tan\theta\leqslant 1.5$ 时，可认为焊缝与母材等强，不用计算。

13.3.4 角焊缝的构造要求与计算

1. 角焊缝的构造要求

角焊缝是最常见的焊缝。角焊缝按其与作用力的关系分为正面角焊缝、侧面角焊缝及斜焊缝。焊缝按其截面形式分为直角角焊缝(图 13.21)、斜角角焊缝(图 13.22)。图中 h_f 为焊脚尺寸。





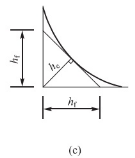
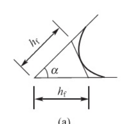
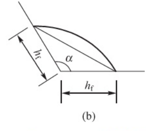


图 13.21　直角角焊缝





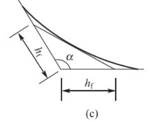


图 13.22　斜角角焊缝

当角焊缝的两焊脚边夹角为 90° 时，称为直角角焊缝，如图 13.21 所示。图 13.21(a) 为表面微凸的等腰直角三角形，施焊方便，是最常见的一种角焊缝形式，但是不能用于直接承受动力荷载的结构中，在直接承受动力荷载的结构中，正面角焊缝宜采用如图 13.21(b) 所示的平坦型，且长边沿内力方向；侧面角焊缝则采用图 13.21(c) 所示的凹面式直角角焊缝。

两焊脚边的夹角 $\alpha>90°$ 或 $\alpha<90°$ 的焊缝称为斜角角焊缝，图 13.22 所示的斜角角焊缝常用于钢漏斗和钢管结构中。对于夹角 $\alpha>135°$ 或 $\alpha<60°$ 的斜角角焊缝，除钢管结构外，不宜用作受力焊缝。

(1) 最小焊脚尺寸 $h_{f,min}$ 。角焊缝的焊脚尺寸 h_f 不能过小，否则焊缝因输入能量过小，而焊件厚度较大，以致施焊时冷却速度过快，产生淬硬组织，导致母材开裂。《钢结构工程质量验收规范》规定，当采用手工焊时，有

$$h_{f,max} \geqslant 1.5\sqrt{t_2}$$

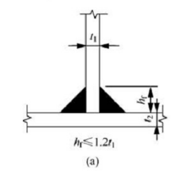
式中，t_2——较厚焊件厚度 (mm)。

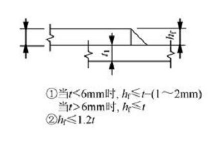
焊脚尺寸取整毫米数，小数点以后都进为 1。自动焊熔深较大，故所取最小焊脚尺寸可减小 1 mm；对 T 形连接的单面角焊缝，应增加 1 mm；当焊件厚 $t \leqslant 4$ mm 时，取 $h_{f,min}=t$。

(2) 最大焊脚尺寸 $h_{f,max}$ 。为了避免较薄焊件烧穿，减小焊接残余应力和残余变形，角焊缝的焊脚尺寸不宜过大。《钢结构工程质量验收规范》规定，除钢管结构外，角焊缝的焊脚尺寸 h_f 不宜大于较薄焊件厚度的 1.2 倍，如图 13.23(a) 所示，即

$$h_{f,max} \leqslant 1.2t_1$$

式中，t_1——较薄焊件厚度 (mm)。





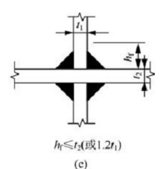


图 13.23　最大焊脚尺寸

(a)T 形连接；(b) 搭接；(c) 十字连接

对板边厚度为 t 的边缘角焊缝施焊，如图 13.23(b) 所示，为防止咬边，$h_{f,max}$ 尚应满足下列要求。

① 当板件厚度 $t \leqslant 6$ mm 时，$h_{f,max} \leqslant t$。

② 当板件厚度 $t>6$ mm 时，$h_{f,max} = t - (1 \sim 2)$ mm。

如果另一焊件厚度 $t'<t$ 时，还应满足 $h_f \leqslant 1.2\,t'$ 的要求。

(3) 侧面角焊缝的计算长度不宜大于 $60h_f$，即 $l_w \leqslant 60h_f$。当计算长度大于上述限值时，其超过部分在计算中不予考虑。

(4) 角焊缝的最小计算长度 $l_{w,min}$ 。若 l_w 过小，则焊件局部受热严重，且起灭弧弧坑太近对焊缝强度影响较为敏感，会降低焊缝可靠性。因此，《钢结构设计规范》规定，侧面角焊缝或正面角焊缝的计算长度均不得小于 $8h_f$ 及 40 mm。考虑焊缝两端的缺陷，其最小实际焊接长度还应加大 $2h_f$。即计算长度 $l_w \geqslant 8h_f$ 及 40 mm，实际长度 $l=l_w + 2h_f$。

(5) 当板件端部仅有两条侧面角焊缝连接时 (图 13.24)，每条侧面角焊缝长度 l_w 不宜小于两侧面角焊缝之间的距离 b，即 $b/l_w \leqslant 1$；且 $b \leqslant 16t$(当 $t>12$ mm) 或 190 mm(当 $t \leqslant 12$ mm)，t 为较薄焊件的厚度。

(6) 杆件与节点板的连接焊接宜采用两面侧焊，也可用三面围焊，对角钢杆件可采用 L 形围焊，所有围焊的转角处必须连续施焊；对于非围焊情况，当角焊缝的端部在构件转角处时，可连续地做长度为 $2h_f$ 的绕角焊 (图 13.24)。

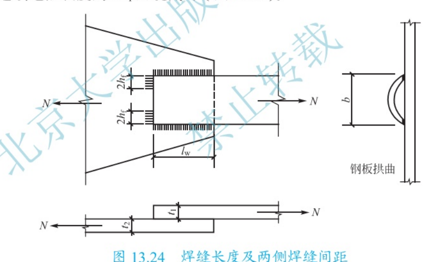


图 13.24　焊缝长度及两侧焊缝间距

(7) 在搭接连接中，搭接长度 $\geqslant 5t_{min}$ 且 $\geqslant$ 25 mm(图 13.25)。

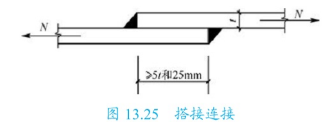


图 13.25　搭接连接

2. 角焊缝的计算

应用案例13-1

如图 13.26 所示，按构造要求计算板件焊脚尺寸。



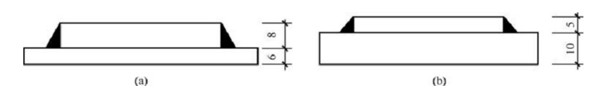


图 13.26　应用案例 13-1 图

解：(1) 在图 13.26(a) 中

$$1.5\sqrt{t_{max}}=1.5\sqrt{8}=4.2(\text{mm})，取 h_{f,min}=5\text{ mm}$$

$$1.2t_{min}=1.2\times6=7.2(\text{mm})，取 h_{f,max}=7\text{ mm}$$

因为是边缘角焊缝，$h_{f,max}=t-2=8-2=6(\text{mm})$

所以 h_f=6 mm 合理。

(2) 在图 13.26(b) 中

$1.5\sqrt{t_{max}}=1.5\sqrt{10}=4.7(\text{mm})$，取 $h_{f,min}=5$ mm

$1.2t_{min}=1.2\times5=6$ (mm)，取 $h_{f,max}=7$ mm

因为是边缘角焊缝，且 t=5 mm<6 mm，取 $h_{f,max}$=5 mm，所以取 h_f=5 mm 合理。

13.3.5 焊缝符号表示法

《焊缝符号表示法》规定：焊缝代号由引出线、图形符号和辅助符号三部分组成。引出线由横线和带箭头的斜线组成。箭头指到图形上的相应焊缝处，横线的上面和下面用来标注图形符号和焊缝尺寸。当引出线的箭头指向焊缝所在的一面时，应将图形符号和焊缝尺寸等标注在水平横线的上面；当引出线的箭头指向焊缝所在的另一面时，则应将图形符号和焊缝尺寸等标注在水平横线的下面。必要时可在水平线的末端加一尾部作为其他说明之用。图形符号表示焊缝的基本形式，如用◣表示角焊缝，用 V 表示 V 形坡口的对接焊缝。辅助符号表示辅助要求，如用⚑表示现场安装焊缝等。

1. 对接焊缝的符号

对接焊缝的符号如图 13.27 所示。

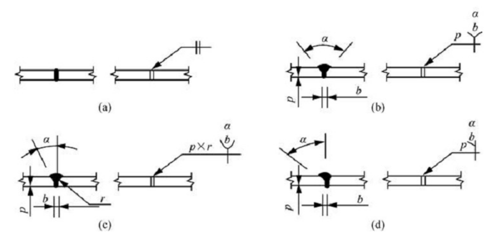


图 13.27　对接焊缝符号

(a) 直焊缝；(b) V 形对接焊缝；(c) U 形对接焊缝；(d) 单边 V 形对接焊缝

2. 角焊缝的符号

角焊缝的符号如图 13.28 所示。

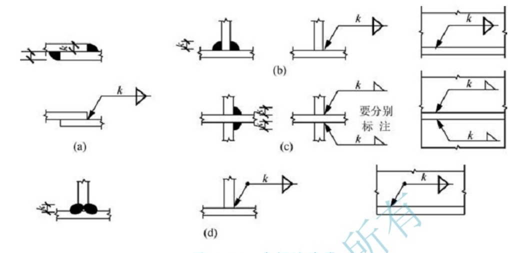


图 13.28 角焊缝符号

(a) 搭接连接；(b) T 形连接；(c) 十字连接；(d) 熔透角焊缝

3. 不规则焊缝的标注

不规则焊缝的标注如图 13.29 所示。

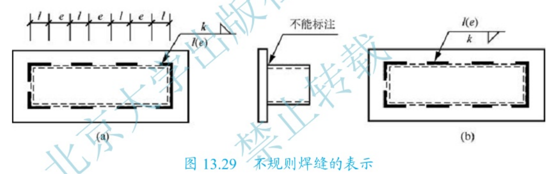


图 13.29 不规则焊缝的表示

(a) 可见焊缝；(b) 不可见焊缝

4. 相同焊缝符号

在同一张图上，当焊缝的形式、断面尺寸和辅助要求均相同时，可只选择一处标注焊缝的符号和尺寸，并加注“相同焊缝符号”，相同焊缝符号为 3/4 圆弧，绘在引出线的转折处，如图 13.30 所示。

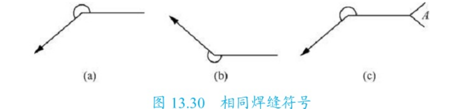


图 13.30 相同焊缝符号

5. 现场安装焊缝的表示

现场安装焊缝的表示如图 13.31 所示。

6. 较长角焊缝的标注

对较长的角焊缝，可直接在角焊缝旁标注焊缝尺寸 k，如图 13.32 所示。



7. 局部焊缝的标注

局部焊缝的标注如图 13.33 所示。

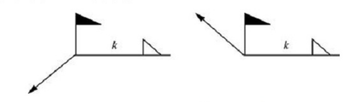


图 13.31　现场安装焊缝的表示

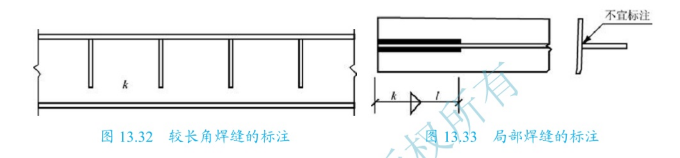


图 13.32　较长角焊缝的标注　　图 13.33　局部焊缝的标注

13.3.6 普通螺栓的排列和要求

1. 螺栓的规格

钢结构采用的普通螺栓形式为大六角头型，其代号用字母 M 与公称直径的毫米数表示，常用的有 M16、M20、M24。

2. 螺栓的排列

螺栓的排列通常分为并列、错列两种形式 (图 13.34)。

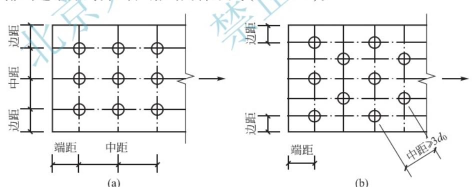


图 13.34　钢板的螺栓 (铆钉) 排列

(a) 并列；(b) 错列

螺栓在构件上的排列要满足以下三方面的要求。

(1) 受力要求。在受力方向螺栓的端距过小时，钢材有剪断或撕裂的可能。各排螺栓距和线距太小时，构件有沿折线或直线破坏的可能。对受压构件，当沿作用力方向螺栓栓距过大时，被连接板件间易发生鼓曲和张口现象。

(2) 构造要求。螺栓中距及边距不宜太大，否则钢板间不能紧密贴合，潮气易侵入缝隙使钢材锈蚀。



(3) 施工要求。螺栓间距不能太近，要保证有一定的空间，便于转动螺栓扳手拧紧螺帽。

螺栓排列的最大、最小容许距离见表 13-1。

表 13-1 螺栓或铆钉的最大、最小容许距离

<table>
<tr><th>名称</th><th colspan="3">位置和方向</th><th>最大容许距离（取两者较少者）</th><th>最少容许距离</th></tr>
<tr><td rowspan="5">中心间距</td><td colspan="3">外排（垂直内力方向或顺内力方向）</td><td>$8d_0$ 或 $12t$</td><td rowspan="5">$3d_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">中间排</td><td colspan="2">垂直内力方向</td><td>$16d_0$ 或 $24t$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">顺内力方向</td><td>构件受压力</td><td>$12d_0$ 或 $18t$</td></tr>
<tr><td>构件受拉力</td><td>$16d_0$ 或 $24t$</td></tr>
<tr><td colspan="3">沿对角线方向</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="4">中心至构件边缘距离</td><td colspan="3">顺内力方向</td><td rowspan="4">$4d_0$ 或 $8t$</td><td>$2d_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">垂直内力方向</td><td colspan="2">剪切边或手工气割边</td><td rowspan="2">$1.5d_0$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">轧制边自动精密气割或锯割边</td><td>高强度螺栓</td></tr>
<tr><td>其他螺栓或铆钉</td><td>$1.2d_0$</td></tr>
</table>

3. 螺栓连接的构造要求

(1) 为了使连接可靠，每一杆件在节点上以及拼接接头的一端，永久性螺栓数不宜少于两个。

(2) 对于直接承受动力荷载的普通螺栓连接，应采用双螺帽或其他防止螺帽松动的有效措施。例如，采用弹簧垫圈，或将螺帽或螺杆焊死等方法。

(3) C 级螺栓与孔壁有较大间隙，只宜用于沿其杆轴方向受拉的连接。承受静力荷载结构的次要连接、可拆卸结构的连接和临时固定构件用的安装连接中，也可用 C 级螺栓承受剪力。但在重要的连接中，如制动梁或吊车梁上翼缘与柱的连接，由于传递制动梁水平支承反力，同时受到反复动力荷载作用，不得采用 C 级螺栓。柱间支承与柱的连接，以及在柱间支撑处吊车梁下翼缘的连接，因承受着反复的水平制动力和卡轨力，应优先采用高强度螺栓。

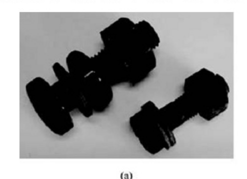
(4) 当采用高强螺栓连接时，拼接件不能采用型钢，只能采用钢板（型钢抗弯刚度大，不能保证摩擦面紧密结合）。

(5) 沿杆轴方向受拉的螺栓连接中的端板（法兰板），应适当增强其刚度（如加设加劲肋），以减少撬力对螺栓抗拉承载力的不利影响。

13.3.7 高强度螺栓连接

高强度螺栓连接分为摩擦型连接和承压型连接两种类型，螺栓由高强度钢经热处理做成，安装时施加强大的预拉力，使构件接触面间产生与预拉力相同的紧压力。摩擦型高强度螺栓就只利用接触面间的摩擦阻力传递剪力，其整体性能好、抗疲劳能力强，适用于承受动力荷载和重要的连接。承压型高强度螺栓连接允许外力超过构件接触面间的摩擦力，利用螺栓杆与孔壁直接接触传递剪力，承载能力比摩擦型提高较多。承压型高强度螺栓可用于不直接承受动力荷载的情况。因此，螺栓的预拉力 P（即板件间的法向压紧力）、摩擦面间的抗滑移系数和钢材种类等都直接影响到高强度螺栓摩擦型连接的承载力。

高强度螺栓分大六角头型和扭剪型两种，如图 13.35 所示。这两种型号都是通过拧紧螺帽，使螺杆受到拉伸作用产生预拉力，而被连接板件间产生压紧力。



(a)



(b)

图 13.35　高强度螺栓

(a) 大六角头型；(b) 扭剪型

特别提示

在钢结构构件连接时，可单独采用焊接连接或螺栓连接，也可同时采用焊接和螺栓连接。一般情况下，翼缘采用焊缝连接，腹板采用螺栓连接。

13.4　轴心受力构件

13.4.1　轴心受力构件的应用

对平面桁架、塔架和网架、网壳等杆件体系，通常假设其节点为铰接连接。当杆件上无节间荷载时，则杆件内力只是轴向拉力或压力，这类杆件称为轴心受拉构件和轴心受压构件，统称轴心受力构件。轴心受力构件在工程中应用的一些实例如图 13.36 所示。

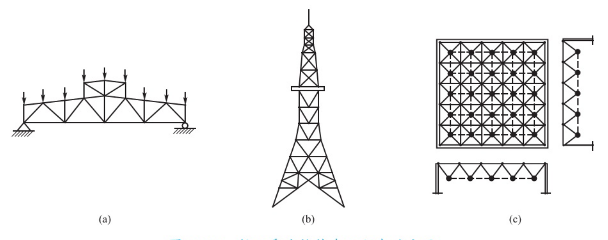


图 13.36　轴心受力构件在工程中的应用

(a) 桁架；(b) 塔架；(c) 网架

例如，轴心压杆经常用作工业建筑的工作平台支柱。柱由柱头、柱身和柱脚三部分组成(图 13.37)。柱头用来支承平台或桁架，柱脚坐落在基础上将轴心压力传给基础。

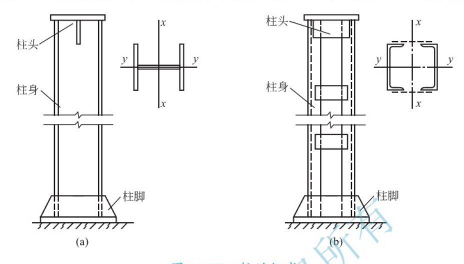


图 13.37 柱的组成

轴心受力构件的常用截面形式可分为实腹式和格构式两大类。

实腹式构件制作简单，与其他构件连接也比较方便。其常用形式有：单个型钢截面，如圆钢、钢管、角钢、T 形钢、槽钢、工字钢、H 形钢等；组合截面，由型钢或钢板组合而成的截面；一般桁架结构中的弦杆和腹杆，除 T 形钢外，常采用热轧角钢组合成 T 形的或十字形的双角钢组合截面；在轻型钢结构中则可采用冷弯薄壁型钢截面，如图 13.38 所示。

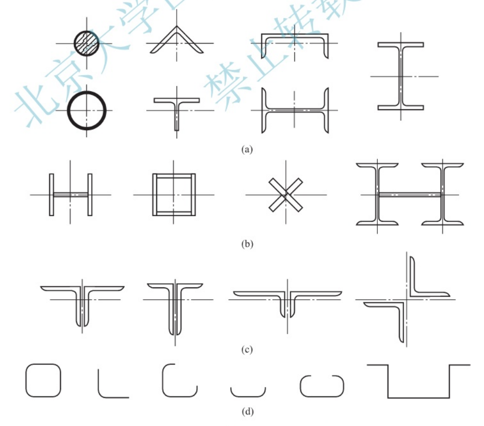


图 13.38 轴心受力实腹式的截面形式

(a) 型钢；(b) 组合截面；(c) 双角钢；(d) 冷弯薄壁型钢

格构式构件容易实现压杆两主轴方向的等稳定性，刚度大，抗扭性能也好，用料较省。其截面一般由两个或多个型钢肢件组成 (图 13.39)，肢件间通过缀条 [图 13.40(a)] 或缀板 [图 13.40(b)] 连接而成为整体，缀板和缀条统称为缀材。

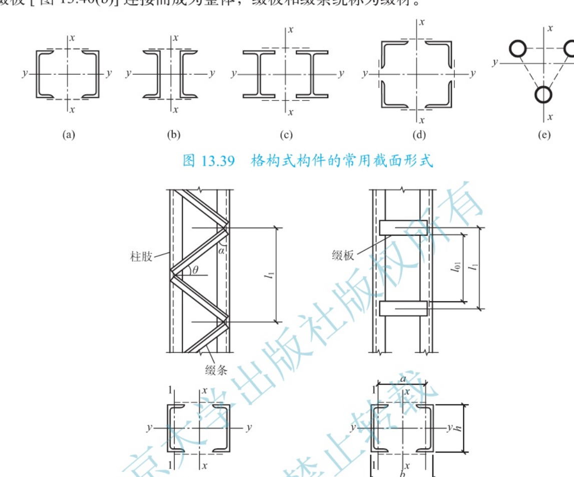


图 13.39　格构式构件的常用截面形式

图 13.40　格构式构件的缀材布置

(a) 桁架；(b) 塔架

轴心受力构件设计应同时满足承载能力极限状态和正常使用极限状态的要求。对于承载能力极限状态，受拉构件一般是强度条件控制，而受压构件则需同时满足强度和稳定的要求。对于正常使用极限状态，是通过保证构件的刚度，即限制其长细比来控制的。因此，轴心受拉构件设计需分别进行强度和刚度的验算，而轴心受压构件设计则需分别进行强度、刚度和稳定性的验算。

13.4.2 轴心受力构件的强度及刚度

1. 强度

轴心受力构件的强度，除高强度螺栓摩擦型连接除外，应按式 (13-3) 计算：

毛截面屈服

$$\sigma=\frac{N}{A}\leqslant f \tag{13-3-1}$$

净截面断裂 $$\sigma=\frac{N}{A_n}\leqslant 0.7f_u \tag{13-3-2}$$

式中，N——构件的轴心拉力或压力设计值；

f——钢材的抗拉强度设计值；

A——构件的毛截面面积；

f_u——钢材的抗拉强度最大值；

A_n——构件的净截面面积。

高强度螺栓摩擦型连接处的强度应按式 (13-4) 计算：

$$\sigma=(1-0.5\frac{n_1}{n})\frac{N}{A_n}\leqslant 0.7f_u \text{ 且 } \sigma=\frac{N}{A}\leqslant f \tag{13-4}$$

式中，A——构件的全截面面积。

2. 刚度

轴心受力构件的刚度要求轴心受力构件的长细比不超过规定的容许长细比，即

$$\lambda=\frac{l_0}{i}\leqslant[\lambda] \tag{13-5}$$

式中，λ——构件的最大长细比；

l_0——构件的计算长度；

i——截面的回转半径；

$[\lambda]$——构件的容许长细比，见表 13-2 和表 13-3。

表 13-2 受拉构件的容许长细比 $[\lambda]$

项次	构件名称	承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构			直接承受动力荷载的结构
		一般建筑结构	对腹杆提供平面外支点的强杆	有重级工作制吊车的厂房	
1	桁架的杆件	350	250	250	250
2	吊车梁或吊车桁架以下的柱间支承	300	—	200	—
3	其他拉杆、支承、系杆（张紧的圆钢除外）	400	—	350	—

注：1. 承受静力荷载的结构中，可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比。

2. 对于直接或间接承受动力荷载的结构，计算单角钢受拉构件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径；但在计算交叉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径。

3. 中、重级工作制吊车桁架的下弦杆长细比不宜超过 200。

4. 在设有夹钳吊车或刚性料耙吊车的厂房中，支承（表中第 2 项除外）的长细比不宜超过 300。

5. 受拉构件在永久荷载与风荷载组合作用下受压时，其长细比不宜超过 250。

6. 跨度等于或大于 60 m 的桁架，其受拉弦杆和腹杆的长细比不宜超过 300（承受静力荷载）或 250（承受动力荷载）。

表 13-3　受压构件的容许长细比

项次	构件名称	容许长细比
1	柱、桁架和天窗架构件	150
	柱的缀条、吊车梁或吊车桁架以下的柱间支承	
2	支承（吊车梁或吊车桁架以下的柱间支承除外）	200
	用以减小受压构件长细比的杆件	

注：1. 桁架（包括空间桁架）的受压腹杆，当其内力等于或小于承载能力的 50% 时，容许长细比值可取为 200。

2. 计算单角钢受压构件的长细比时，应采用角钢的最小回转半径；但在计算交叉杆件平面外的长细比时，应采用与角钢肢边平行轴的回转半径。

3. 跨度等于或大于 60 m 的桁架，其受压弦杆和端压杆的容许长细比值宜取为 100，其他受压腹杆可取为 150（承受静力荷载）或 130（承受动力荷载）。

应用案例13-2

如图 13.41 所示为一桁架轴心受拉柱，其截面为双轴对称焊接工字钢，翼缘 b=200mm，t=12 mm，h_0=220 mm，t_w=10 mm，翼缘为火焰切割边，钢材为 Q235，该柱对两个主轴的计算长度分别为 l_{0x}=6 m，l_{0y}=3 m，验算轴心受拉柱。

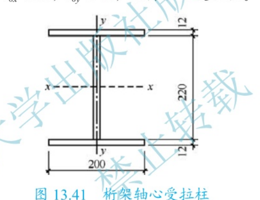


图 13.41　桁架轴心受拉柱

解：截面特征如下。

$$A=220\times10+2\times200\times12=7000(\text{mm}^2)=70\text{cm}^2$$

$$I_x=1\times22^3/12+2\times20\times1.2\times11.6^2=7346(\text{cm}^4)$$

$$I_y=2\times1.2\times20^3/12=1600(\text{cm}^4)$$

$$i_x=\sqrt{\frac{I_x}{A}}=\sqrt{\frac{7346}{70}}=10.24(\text{cm})$$

$$i_y=\sqrt{\frac{I_y}{A}}=\sqrt{\frac{1600}{70}}=4.78(\text{cm})$$

杆件的强度：$\dfrac{N}{A}=\dfrac{1000\times10^3}{7000}=142.86(\text{N/mm}^2)<f=215\ \text{N/mm}^2$

杆件的刚度：$\lambda_x=\dfrac{l_{0x}}{i_x}=\dfrac{600}{10.24}=58.6<[\lambda]=350$，$\lambda_y=\dfrac{l_{0y}}{i_y}=\dfrac{300}{4.78}=62.8<[\lambda]=350$。

13.4.3 轴心受压构件的整体稳定性

钢结构及其构件除应满足强度及刚度条件外，还应满足稳定条件。所谓稳定，是指结构或构件受荷变形后，所处平衡状态的属性。

当结构处于不稳定平衡时，轻微扰动将使结构整体或其组成构件产生很大的变形而最后丧失承载能力，这种现象称为失去稳定性。在钢结构工程事故中，因失稳导致破坏者较为常见。因此，钢结构的稳定问题必须加以足够的重视。

1. 理想轴心受压构件的屈曲形式

所谓理想轴心受压杆件，就是杆件为等截面理想杆件，压力作用线与杆件形心轴重合，材料均质、各向同性、无限弹性且符合虎克定律，没有初始应力的轴心受压杆件。此种杆发生失稳现象，也可以称为屈曲。理想轴心受压构件的屈曲形式可分为弯曲屈曲、扭转屈曲和弯扭屈曲，如图 13.42 所示。

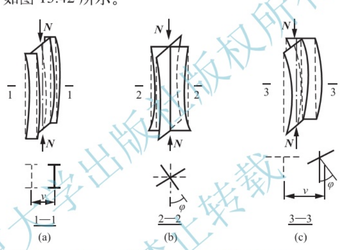


图 13.42 理想轴心受压构件的屈曲形式

(a) 弯曲屈曲；(b) 扭曲屈曲；(c) 弯扭屈曲



特别提示

(1) 受压构件不宜采用无任何对称轴的截面。

(2) 理想轴心受压构件在实际工程中是不存在的，在设计时应考虑截面残余应力、构件初弯曲和受力初偏心的影响。

2. 轴心受压构件的整体稳定计算

实际工程中，理想轴心压杆并不存在，实际构件都具有一些初始缺陷和残余应力，它们使得压杆稳定承载力下降。对轴心受压构件的整体稳定计算采用式 (13-6)。

$$\frac{N}{\varphi \cdot A} \leqslant f \tag{13-6}$$

式中，N——轴心压力设计值；

A——构件的毛截面面积；

f——钢材抗压强度设计值；

φ——稳定系数。

3. 轴心受压构件的局部稳定

实腹式轴心受压构件在轴向压力作用下，在丧失整体稳定之前，其腹板和翼缘都有可能达到极限承载力而丧失稳定，此种现象称为局部失稳。图 13.43 所示为在轴心压力作用下，腹板和翼缘发生侧向鼓曲和翘曲的失稳现象。当轴心受压构件丧失局部稳定后，由于部分板件屈曲而退出工作，使构件有效截面减小，降低了构件的刚度，从而加速了构件的整体失稳。

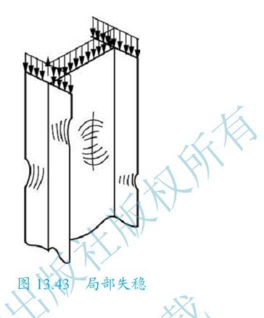


图 13.43　局部失稳

特别提示

轴心受压构件的计算包括三个方面：强度、刚度和稳定性。大多数情况是由稳定性起控制作用。因此，在钢结构的设计和施工中，应保证构件的稳定性。

13.5　受弯构件

承受横向荷载的构件称为受弯构件，其形式有实腹式和格构式两个系列，在实际工程中受弯构件一般指前一类。

13.5.1　受弯构件梁的分类

钢梁分为型钢梁和组合梁两大类。

型钢梁的截面有热轧工字钢 [图 13.44(a)]、热轧 H 形钢 [图 13.44(b)] 和槽钢 [图 13.44(c)] 三种，其中以 H 形钢的截面分布最为合理，翼缘内外边缘平行，与其他构件连接较方便，应予优先采用。某些受弯构件 (如檩条) 采用冷弯薄壁型钢 [图 13.44(d) ～ (f)] 较经济，但防腐要求较高。

组合梁一般为采用三块钢板焊接而成的工字形截面 [图 13.44(g)]，或由 T 形钢 (H 形钢剖分而成) 中间加板的焊接截面 [图 13.44(h)]。当焊接组合梁翼缘需要很厚时，可采用两层翼缘板的截面 [图 13.44(i)]。受动力荷载的梁如钢材质量不能满足焊接结构的要求时，可采用高强度螺栓或铆钉连接而成的工字形截面 [图 13.44(j)]。荷载很大而高度受到限制或梁的抗扭要求较高时，可采用箱形截面 [图 13.44(k)]。组合梁的截面组成比较灵活，可使材料在截面上的分布更为合理，节省钢材。

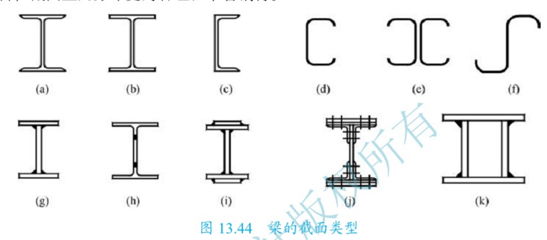


图 13.44　梁的截面类型

在土木工程中，梁格通常由若干梁平行或交叉排列而成，图 13.45 即为工作平台梁格布置示例。

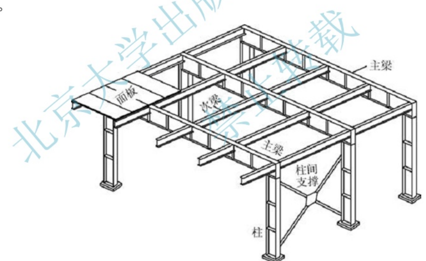


图 13.45　工作平台梁格布置示例

13.5.2 受弯构件的整体稳定

1. 整体稳定的概念

梁在竖向荷载作用下，当荷载较小时，梁开始弯曲并产生变形，此时梁的弯曲平衡是稳定的，当弯矩增大到某一数值时，钢梁会在偶然的很小的侧向干扰力下，突然向侧面发生较大的弯曲，同时发生扭转，如图 13.46 所示。这时即使除去侧向干扰力，侧向弯扭变形也不再消失，如果弯矩再稍微增大，则弯扭变形迅速增大，从而使梁失去承载力。这种



因弯矩超过临界限值而使钢梁从稳定平衡状态转变为不稳定平衡状态并发生侧向弯扭屈曲的现象，称为钢梁弯曲扭转屈曲或钢梁丧失稳定性。使梁丧失整体稳定的弯矩或荷载称为临界弯矩或临界荷载。

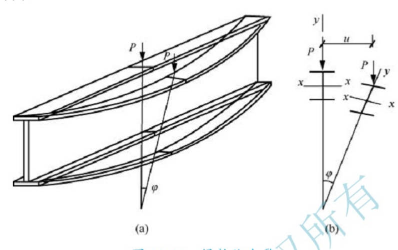


图 13.46　梁整体失稳

2. 增强梁整体稳定的措施

一般可采用下列方法增强梁的整体稳定性。

(1) 增大梁截面尺寸，其中增大受压翼缘的宽度是最有效的。

(2) 增加侧向支承体系，减小构件侧向支承点的距离，侧向支承应设在受压翼缘处，如图 13.47 所示。

(3) 当跨内无法增设侧向支承时，宜采用闭合箱形截面。

(4) 增加梁两端的约束，提高其整体稳定性。

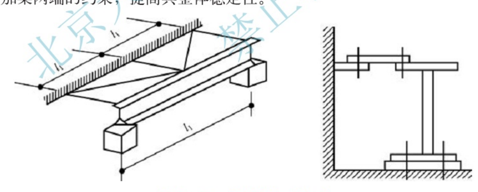


图 13.47　梁侧向支承体系

模块小结

(1) 本模块对钢结构做了全面的讲述，包括钢结构的组成、特点及应用范围，钢结构的材料性能，钢结构的连接，钢结构轴心受力构件强度、刚度和稳定性的概念及计算、受弯构件的稳定性。

(2) 钢结构是由钢板、圆钢、钢管、钢索、各种型钢等钢材经过加工、连接、安装而成。

(3) 钢结构的特点：轻质高强，塑性、韧性好，有良好的焊接性能，制作简便、施工方便，可重复使用，耐热不耐火，耐腐蚀性差，呈现低温冷脆性。

(4) 钢材的力学性能包括：屈服强度，抗拉强度，塑性，韧性，可焊性。影响钢材性能的主要因素有：化学成分的影响，焊接性能，冶炼与轧制，温度的影响，应力集中现象。

(5) 钢结构的连接包括焊接、螺栓连接和铆接。

(6) 对接焊缝和角焊缝的表示方法。

(7) 轴心受力包括轴心受拉和轴心受压。轴心受拉杆件需进行强度和刚度验算，轴心受压杆件应进行强度、刚度和稳定性的验算。

(8) 受弯构件的截面类型，受弯构件的整体稳定性的概念。

习 题

1. 选择题

(1) 大跨度结构常采用钢结构的主要原因是钢结构 (　　)。

A．密封性好　　B．自重轻　　C．制造工厂化　　D．便于拆装

(2) 钢材的设计强度是根据 (　　) 确定的。

A．比例极限　　B．弹性极限　　C．屈服强度　　D．极限强度

(3) Q235 钢按照质量等级分为 A、B、C、D 共 4 级，由 A 到 D 表示质量由低到高，其分类依据是 (　　)。

A．冲击韧性　　B．冷弯试验　　C．化学成分　　D．伸长率

(4) 钢号 Q345A 中的 345 表示钢材的 (　　) 值。

A. f_p　　B. f_u　　C. f_y　　D. f_{vy}

(5) 钢材所含化学成分中，需严格控制含量的有害元素为 (　　)。

A．碳、锰　　B．钒、锰　　C．硫、氮、氧　　D．铁、硅

(6) 对于普通螺栓连接，限制端距 $e \geqslant 2d_0$ 的目的是避免 (　　)。

A．螺栓杆受剪破坏　　B．螺栓杆受弯破坏

C．板件受挤压破坏　　D．板件端部冲剪破坏

(7) Q235 与 Q345 两种不同强度的钢材进行手工焊接时，焊条应采用 (　　)。

A. E55 型　　B. E50 型　　C. E43 型　　D. H10MnSi

(8) 在搭接连接中，为了减小焊接残余应力，其搭接长度不得小于较薄焊件厚度的 (　　)。

A. 5 倍　　B. 10 倍　　C. 15 倍　　D. 20 倍

(9) 承压型高强度螺栓连接比摩擦型高强度螺栓连接 (　　)。

A．承载力低，变形大　　B．承载力高，变形大

C．承载力低，变形小　　　　D．承载力高，变形小

(10) 对于直接承受动力荷载的结构，宜采用 (　　)。

A．焊接连接　　　　B．普通螺栓连接

C．摩擦型高强度螺栓连接　　　　D．承压型高强度螺栓连接

(11) 角焊缝的最小焊脚尺寸 $h_{f,min} \geqslant 1.5t_2$，最大焊脚尺寸 $h_{f,max} \leqslant 1.2t_1$，式中的 t_1 和 t_2 分别为 (　　)。

A. t_1 为腹板厚度，t_2 为翼缘厚度

B. t_1 为翼缘厚度，t_2 为腹板厚度

C. t_1 为较薄的被连接板件的厚度，t_2 为较厚的被连接板件的厚度

D. t_1 为较厚的被连接板件的厚度，t_2 为较薄小的被连接板件的厚度

2. 简答题

(1) 钢结构对钢材的性能有哪些要求？这些要求用哪些指标来衡量？

(2) 钢材受力有哪两种破坏形式？它们对结构安全有何影响？

(3) 钢结构的连接方法有哪些？

(4) 焊缝的形式主要有几类？

(5) 角焊缝的尺寸有哪些构造要求？

(6) 普通螺栓连接和高强度螺栓连接有哪些相同点和不同点？

(7) 怎样计算轴心受力构件的强度和刚度？

(8) 什么是轴心受压的整体稳定性？

(9) 什么是受弯的整体稳定性？保证梁整体稳定的措施有哪些？



附录A

实例一：混合结构办公楼建筑施工图及结构施工图



储物间

办公室

办公室

女厕

办公室

办公室

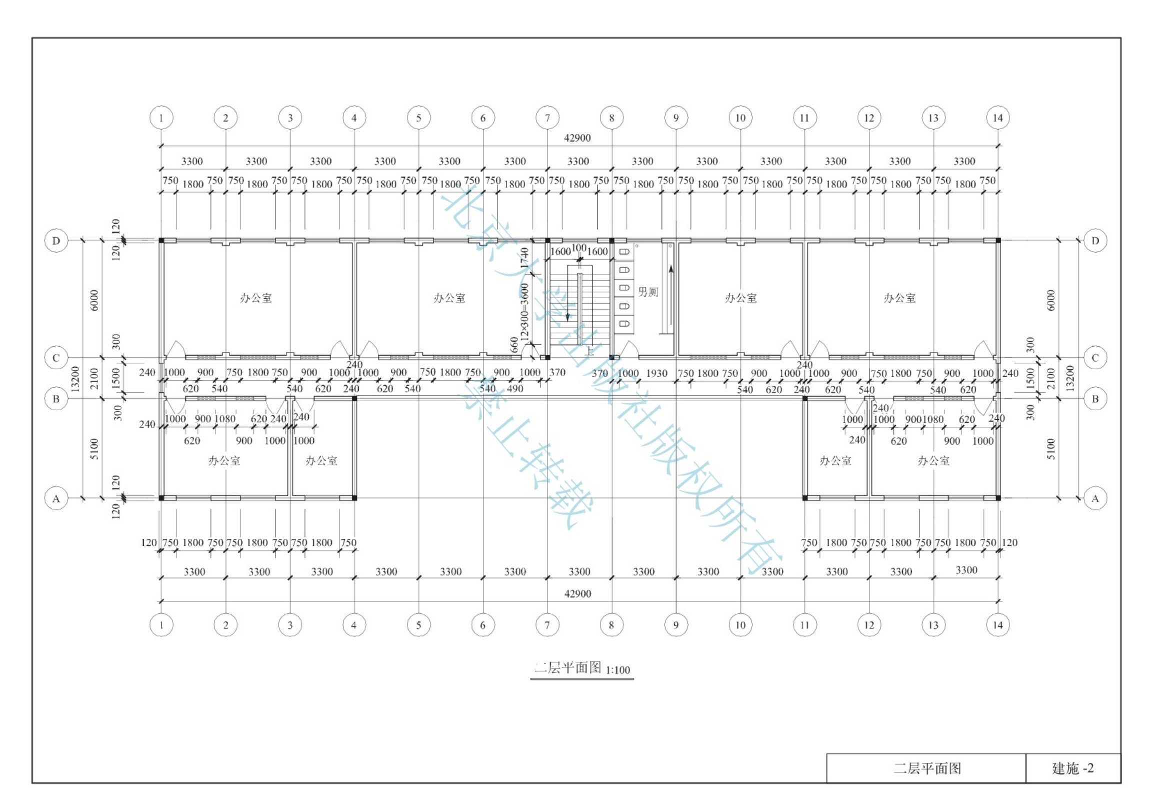
办公室

办公室

办公室

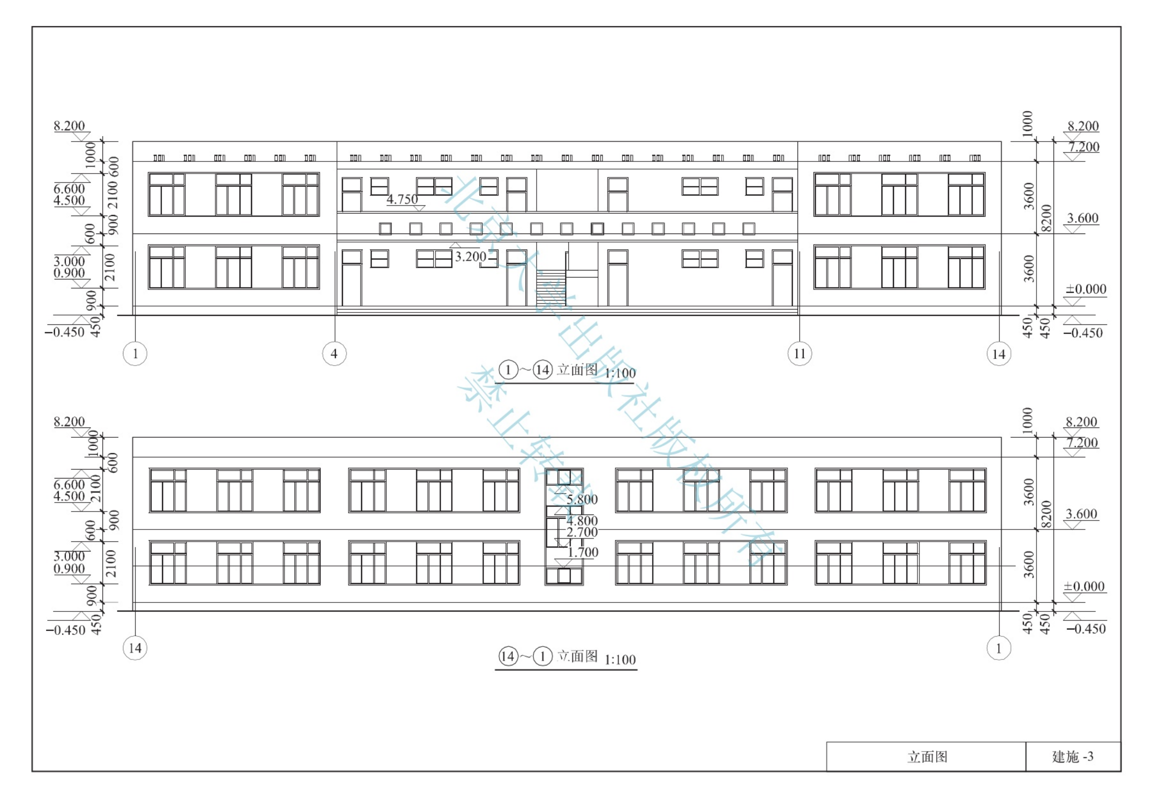
一层平面图 1:100

一层平面图	建施 -1

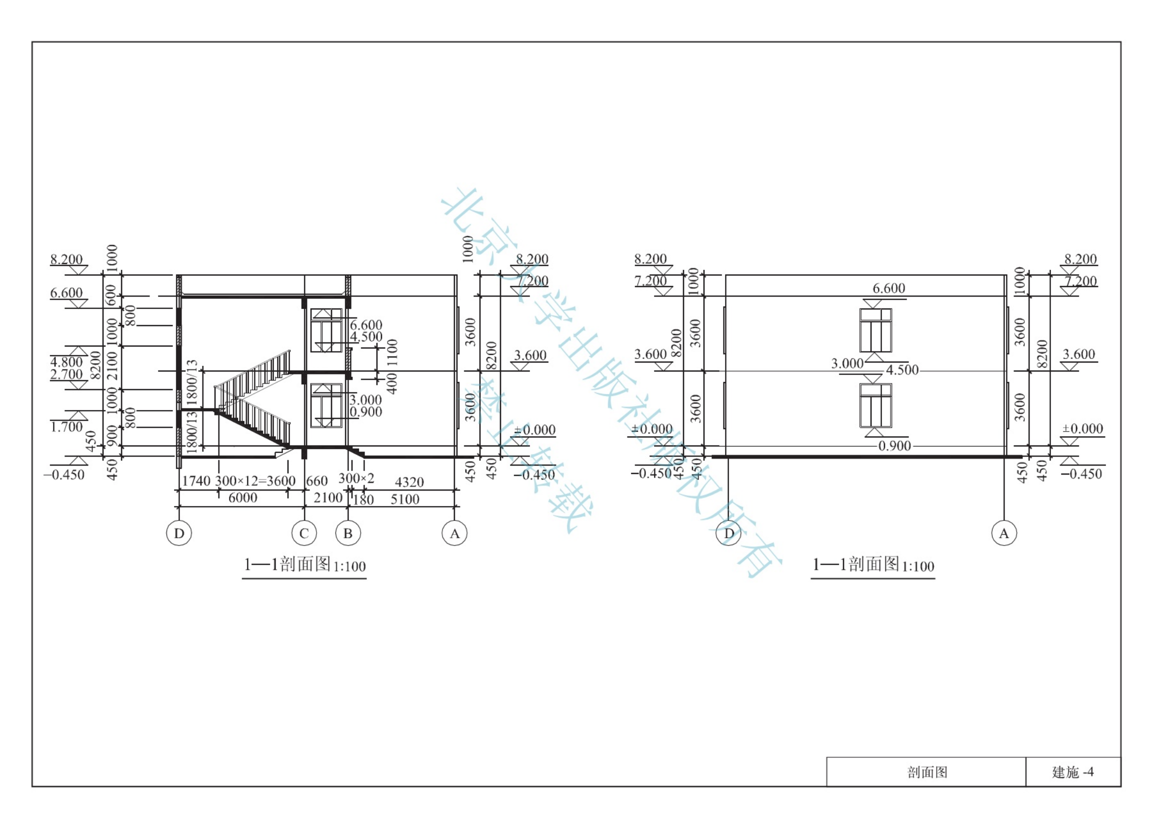


二层平面图 1:100

二层平面图 建施-2



8.200
7.200
6.600
4.500
4.750
3.600
3.200
3.000
0.900
±0.000
−0.450
1000
600
2100
900
450
3600
8200
1
4
11
14
①~⑭ 立面图 1:100
5.800
4.800
2.700
1.700
⑭~① 立面图 1:100
立面图
建施 -3


8.200
6.600
4.800
2.700
1.700
−0.450
±0.000
3.600
7.200
1740 300×12=3600
660
300×2
4320
6000
2100
180
5100
1800/13
6.600
4.500
3.000
0.900
D
C
B
A
1—1剖面图 1:100
8.200
7.200
3.600
±0.000
−0.450
6.600
3.000
4.500
0.900
D
A
1—1剖面图 1:100
剖面图
建施 -4

结构设计总说明

一、工程概况

本工程为 × × 学校办公楼砖混结构，结构安全等级为二级，场地类别为Ⅲ类，丙类建筑，地基基础设计等级为丙级；砌体砌筑质量等级为 B 级。

设计合理使用年限为 50 年，±0.000 相对黄海高程为 98.500m。

二、设计依据

1.《建筑结构制图标准》(GB/T 50105—2001)
2.《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)
3.《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)
4.《建筑抗震设计规范》(2008 年版)(GB 50011—2001)
5.《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)
6.《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002/J220—2002)
7.《砌体结构设计规范》(GB 50001—2001)
8.《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)
9.《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(03G101—1、04G101—3)
10.《住宅工程质量通病防治技术规程》(DBJ 41/070—2005)
11.《河南省 02 系列结构标准设计图集》(DBJT 19—01—2002)

三、场地及基础

1. 基础设计依据 × × 勘察院 (08 年 03 月) 提供的 × × 办公楼《岩土工程勘察报告》进行设计，基础持力层选择第 1 层粉土层上，地基承载力特征值 f_{ak}=145 kPa；建设场地地貌单一，无湿陷、膨胀、液化等不良地质情况。
2. 开挖基槽时，不应扰动土的原状结构，如经扰动，应挖除扰动部分，根据土的压缩性选用级配砂石进行回填处理，压实系数应大于 0.95。
3. 基础施工前应进行验槽，如发现土质与地质报告不符合时，须会同勘察、施工、设计、建设、监理单位共同协商研究处理。
4. 机械挖土时应按有关规范要求进行，坑底应保留 200 mm 厚的土层用人工开挖。基槽开挖中如发现地基有异常情况，应及时通知设计人员。验槽合格后方可继续施工。

四、结构荷载 (kN/m²)

1. 办公室，卫生间	2.0	4. 走廊	2.5
2. 非上人屋面	0.5	5. 基本风压	0.45
3. 楼梯	2.0	6. 基本雪压	0.40

注：未经技术鉴定或设计许可，不得改变结构用途和使用环境。

五、主要结构材料

1. 混凝土强度等级
   基础垫层：C15；基础 C30；其余现浇混凝土均用 C25。
2. 钢筋采用：HPB300 级 (Φ)；HRB400 级 (Φ)；钢板采用 Q235 钢。
   钢筋设计强度：HPB300：f_y=f'_y=210 N/mm²；HRB400：f_y=f'_y=360 N/mm²。
3. 当钢筋采用焊接时，HPB300 钢筋用 E43 × × 焊条，HRB400 钢筋用 E60 × × 焊条，按《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—2003) 施工。
4. 砌体材料：墙体采用 MU10 蒸压粉煤灰砖，±0.000 以下采用 M10 水泥砂浆。±0.000 以上采用 M10 混合砂浆。蒸压粉煤灰砖墙应采用黏结性砂浆砌筑。

六、工程抗震

1. 本工程抗震设防烈度为 7 度，设计基本地震加速度值为 0.15g，设计地震分组为第一组，计算风荷载时，地面粗糙度取 B 类。
2. 钢筋直径≥ 22mm 时，应采用焊接头或机械接头 (机械接头系指镦粗直螺纹钢筋接头或冷冷挤压接头)；直径 <22mm 时可采用绑扎接头；条件允许时尽量采用焊接接头。钢筋采用焊接或机械连接必须符合规范和经过检验。图中未注明的钢筋搭接长度及锚固长度按国家标准 03G 101—1 第 34 页的有关规定执行。
3. 本工程所有的柱及梁，其箍筋及拉筋的末端均应做成不小于 135° 的弯钩，弯钩端头平直段长度不应小于 10d(d 为箍筋或拉筋的直径)。
4. 构造柱、圈梁说明及抗震构造详图详见 02YG001—1 第 4 ~ 15 页，防止或减轻墙体裂缝的加强构造大样详见 02YG001—1 第 44 ~ 48 页。

七、通用性构造说明

1. 雨篷及挑檐等完全外露构件及 ±0.000 以下构件与土接触的面均为二 b 类环境，卫生间为二 a 类环境，其余为一类环境。
2. 图纸中未注明的钢筋保护层厚度不应小于钢筋的公称直径，且应符合下表规定：

环境类别		基础	梁 ≥ 20	梁 C25 ~ C45	柱 ≥ 20	柱 C25 ~ C45	板 ≥ 20	板 C25 ~ C45
一		40	30	25	30	30	20	15
二	a		—	30	—	30	—	20
	b		—	35	—	35	—	25

埋在土中的混凝土柱竖向纵筋与一层纵筋上下对齐。

在任何情况下受力钢筋的锚固长度不应小于 300 mm。

3. 本工程所有后砌 120 厚墙均采用 M5 混合砂浆砌筑，施工时应注意在承重墙与后砌墙对应部位预留锚拉筋，墙顶用斜砖塞紧，保持墙体顶部与梁紧密结合。
4. 本工程构造柱设置位置以楼层平面图为准，构造柱除注明外纵筋下端均锚入墙下基础内，构造柱纵筋上端伸至屋面或女儿墙顶。构造柱施工时，应先砌墙后浇柱构造柱构造详 02YG001—1 第 8 ~ 11 页，构造柱纵筋的锚固和搭接详见 02YG001—1 第 12 ~ 17 页，与构造柱相邻的砖垛小于 240mm 时，此砖垛改用和构造柱同级别的素混凝土与构造柱整浇在一起，女儿墙构造柱间距不大于 4 m，构造做法详见 02YG001—1 第 23 ~ 26 页。
5. 本工程于每层楼 (屋) 面所有承重墙体均设置圈梁，配筋见单项设计要求。
6. 本工程所有门窗洞口上方过梁均选用 02YG301 中对应跨度之 3 级矩形现浇过梁即 K(S)GLA24 × × 2(× × － 梁跨)。承重横墙设置施工洞及其他专业墙体留洞宽度大于 300mm 时，应设置 3 级过梁。所有门窗过梁应配合建筑图做好门窗套及线脚。当门窗洞顶与圈梁之间的间距小于过梁高时，洞顶过梁和按照图一要求合并现浇。
7. 圈梁与圈梁、圈梁与现浇梁之间均应按照相关规定进行连接。
9. 预制空心楼板端部与圈梁的连接构造详见 02YG201 第 91 ~ 96 页。
10. 砖墙上现浇梁端部除与构造柱连接或特别注明外均自墙边伸入墙体不小于 120 mm。
11. 双向板的底部钢筋短跨钢筋置下排。
12. 板内分布钢筋包括楼梯跑板，除注明者外，按照如下要求：

受力钢筋直径 /mm	分布钢筋直径间距
6 ~ 10	Φ6@250
12 ~ 14	Φ8@250

13. 沿外墙于各层窗台下方的第一和第二道水平灰缝内设置 2 Φ 6 通长钢筋。
14. 本工程屋面上人孔周边构造加强钢筋设置要求详见图二。

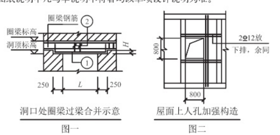
八、相关专业说明

1. 建筑门窗和屋面女儿墙、楼梯、栏板等的预埋件，必须配合建筑图纸和其总说明有关部分要求施工。楼梯间分开施工时，应注意在相邻的梁处预留钢筋。
2. 电气专业 (详见电施相关图纸) 有避雷接地要求的构造柱，该柱内应有两根钢筋上下焊通，作为引下线，施工中应将这两根钢筋做好标记，以利施工。防雷引下线下端与基础内钢筋焊牢，上端伸出对应屋面之女儿墙顶面 200mm 与屋面防雷网相焊。

九、其他

1. 图中长度单位为毫米 (mm)，结构标高单位为米 (m)。
2. 本工程土建施工单位应对各专业的留洞留槽及预埋件等需现场配合的各工种图纸进行核对，且与安装单位密切配合施工，正确预留图中所注明的留洞留槽及预埋件。
3. 本工程开工前应组织参建各方进行图纸会审工作，弄清设计意图，对图纸上的错漏及时提出，复核无误后方可施工。

4. 本图纸说明未尽之处，按相关施工及验收规范，规程要求认真施工。
5. 图纸说明中凡与本说明不符者均以单项设计说明为准。



洞口处圈梁过梁合并示意

图一

屋面上人孔加强构造

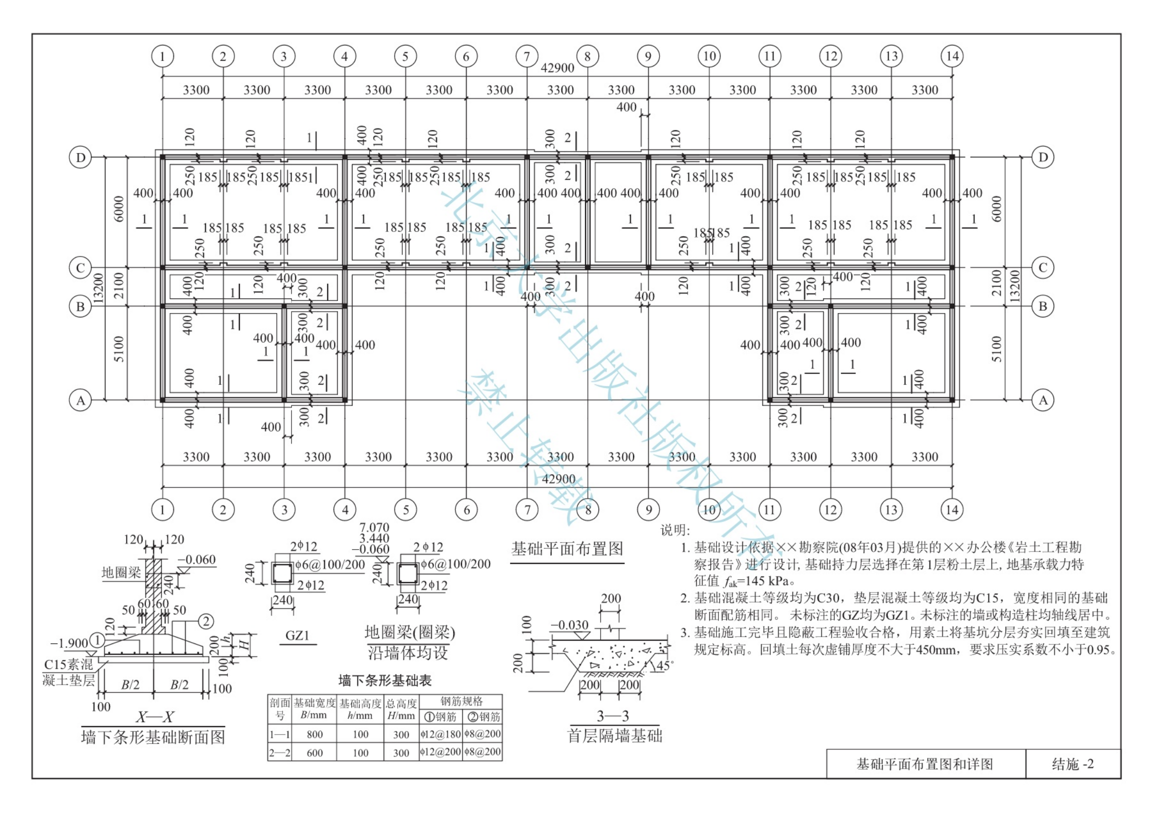
图二

洞口宽度 L/m	≤ 1.2	1.5>L>1.2	1.8>L ≥ 1.5	L ≥ 1.8
①号钢筋	2Φ12	2Φ14	2Φ16	2Φ18
②号钢筋	Φ6@150	Φ6@150	Φ6@100	Φ6@100

图 纸 目 录

图纸编号 新图	图纸编号 标、通、统、重用图	图 纸 名 称	张数	图幅	附注
01		结构设计总说明图纸目录	1	A2	结施 -1
02		基础平面布置图和详图	1	A2	结施 -2
03		二层楼面结构布置图	1	A2	结施 -3
04		屋面结构布置图	1	A2	结施 -4
05		梁配筋图	1	A2	结施 -5
06		楼梯详图	1	A2	结施 -2
	02YG001-1	砌体结构构造详图 (豫省标)			
	02YG201	预应力混凝土空心板 (豫省标)			
	02YG301	钢筋混凝土过梁 (豫省标)			

结构设计总说明及图纸目录	结施 -1



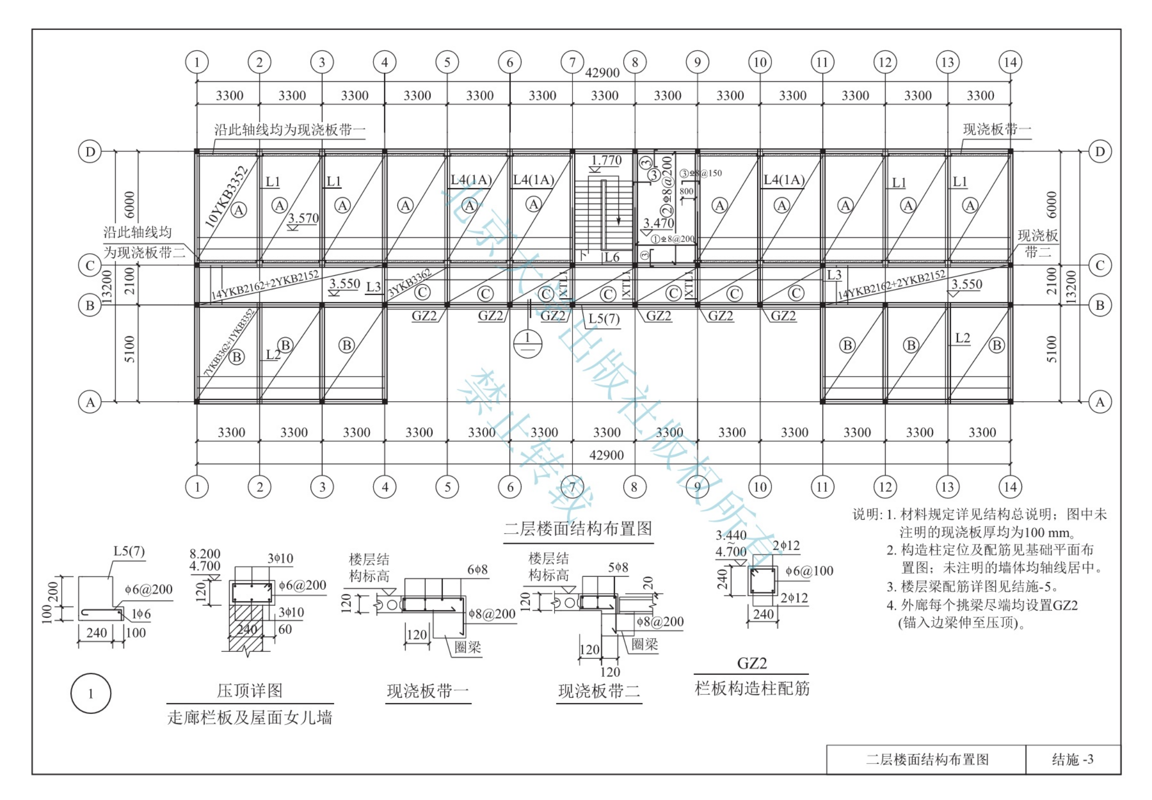
墙下条形基础表

剖面号	基础宽度 B/mm	基础高度 h/mm	总高度 H/mm	钢筋规格 ①钢筋	钢筋规格 ②钢筋
1—1	800	100	300	ϕ12@180	ϕ8@200
2—2	600	100	300	ϕ12@200	ϕ8@200

说明:

1. 基础设计依据××勘察院(08年03月)提供的××办公楼《岩土工程勘察报告》进行设计, 基础持力层选择在第1层粉土层上, 地基承载力特征值 f_{ak}=145 kPa。
2. 基础混凝土等级均为C30，垫层混凝土等级均为C15，宽度相同的基础断面配筋相同。 未标注的GZ均为GZ1。未标注的墙或构造柱均轴线居中。
3. 基础施工完毕且隐蔽工程验收合格，用素土将基坑分层夯实回填至建筑规定标高。回填土每次虚铺厚度不大于450mm，要求压实系数不小于0.95。

基础平面布置图和详图	结施 -2



二层楼面结构布置图

压顶详图

走廊栏板及屋面女儿墙

现浇板带一

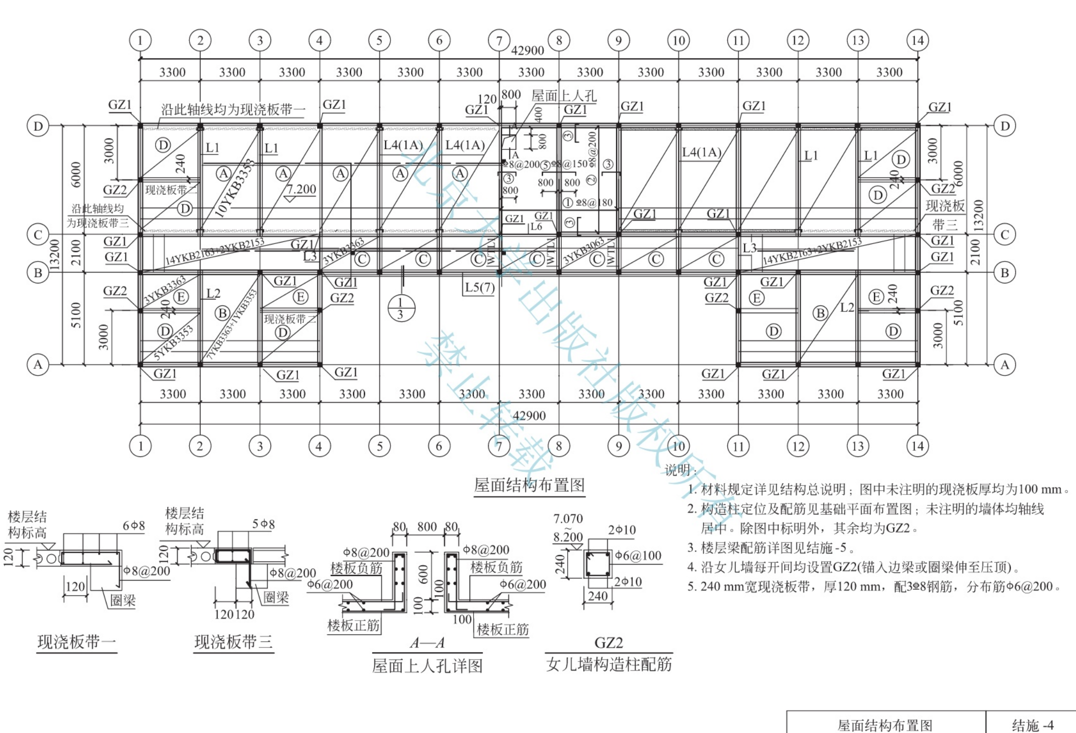
现浇板带二

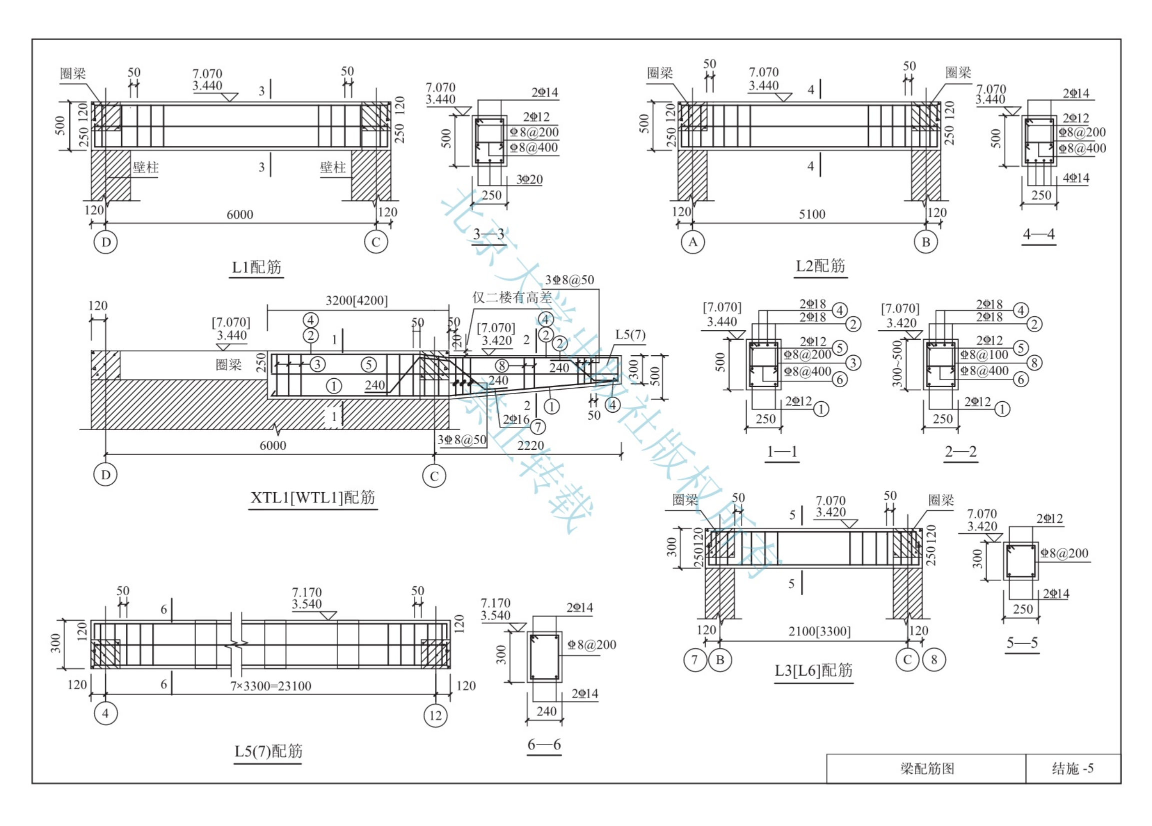
GZ2

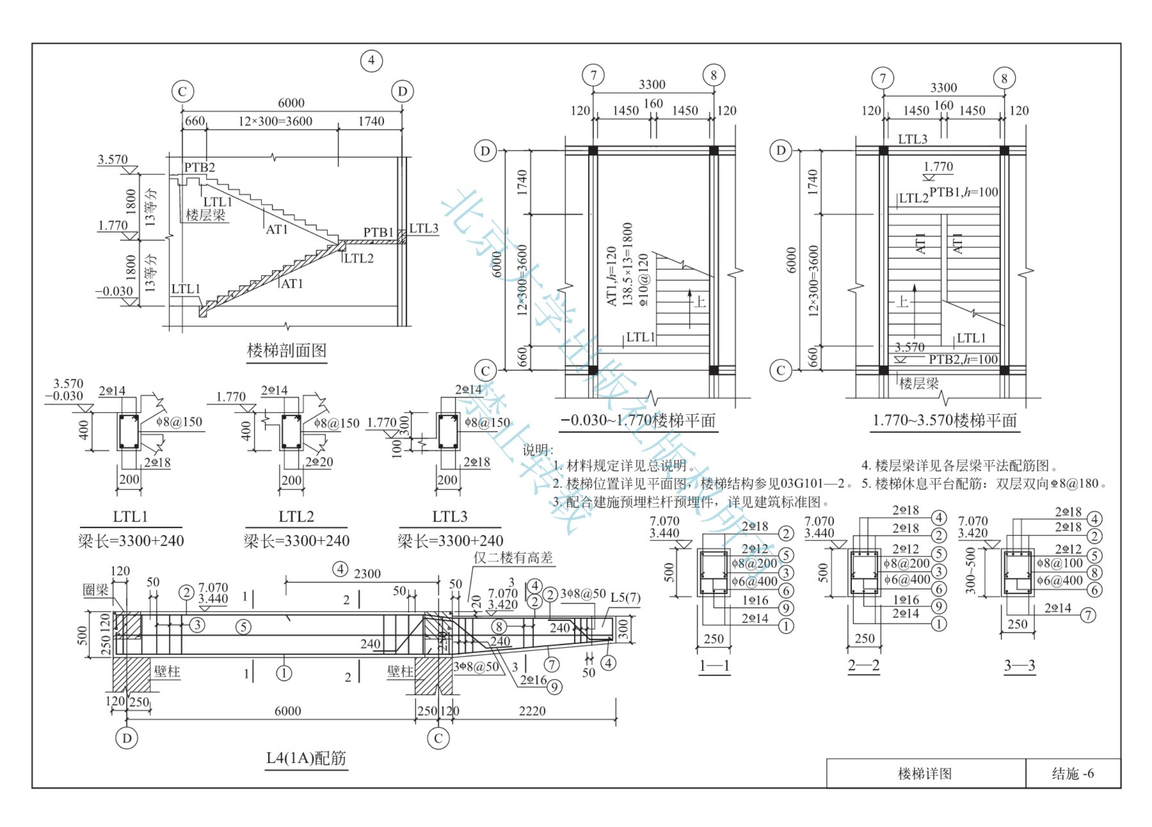
栏板构造柱配筋

说明：1. 材料规定详见结构总说明；图中未注明的现浇板厚均为100 mm。
2. 构造柱定位及配筋见基础平面布置图；未注明的墙体均轴线居中。
3. 楼层梁配筋详图见结施-5。
4. 外廊每个挑梁尽端均设置GZ2（锚入边梁伸至压顶）。

二层楼面结构布置图	结施 -3


屋面结构布置图
沿此轴线均为现浇板带一
沿此轴线均为现浇板带三
现浇板带二
现浇板带三
屋面上人孔
10YKB3353
14YKB2163+2YKB2153
3YKB3363
3YKB3063
5YKB3353
7YKB3363+1YKB3353
7.200
42900
13200
现浇板带一
现浇板带三
楼层结构标高
圈梁
A—A
屋面上人孔详图
楼板负筋
楼板正筋
GZ2
女儿墙构造柱配筋
说明：
1. 材料规定详见结构总说明；图中未注明的现浇板厚均为100 mm。
2. 构造柱定位及配筋见基础平面布置图；未注明的墙体均轴线居中。除图中标明外，其余均为GZ2。
3. 楼层梁配筋详图见结施 -5。
4. 沿女儿墙每开间均设置GZ2(锚入边梁或圈梁伸至压顶)。
5. 240 mm宽现浇板带，厚120 mm，配3⌀8钢筋，分布筋Φ6@200。
屋面结构布置图
结施 -4


L1配筋
3—3
L2配筋
4—4
XTL1[WTL1]配筋
仅二楼有高差
1—1
2—2
L5(7)配筋
6—6
L3[L6]配筋
5—5
梁配筋图
结施 -5



楼梯剖面图
6000
660
12×300=3600
1740
3.570
1.770
−0.030
1800
13等分
PTB2
PTB1
LTL1
LTL2
LTL3
楼层梁
AT1
−0.030~1.770楼梯平面
1.770~3.570楼梯平面
3300
1450
160
120
AT1,h=120
138.5×13=1800
⏀10@120
PTB1,h=100
PTB2,h=100
上
LTL1
梁长=3300+240
LTL2
梁长=3300+240
LTL3
梁长=3300+240
2⏀14
2⏀18
2⏀20
ϕ8@150
200
400
300
100
L4(1A)配筋
圈梁
壁柱
仅二楼有高差
3ϕ8@50
2⏀16
L5(7)
7.070
3.440
3.420
2300
2220
250
500
1—1
2—2
3—3
2⏀12
ϕ8@200
ϕ8@100
ϕ6@400
1⏀16
300~500
说明:
1. 材料规定详见总说明。
2. 楼梯位置详见平面图，楼梯结构参见03G101—2。
3. 配合建施预埋栏杆预埋件，详见建筑标准图。
4. 楼层梁详见各层梁平法配筋图。
5. 楼梯休息平台配筋：双层双向⏀8@180。
楼梯详图
结施 -6

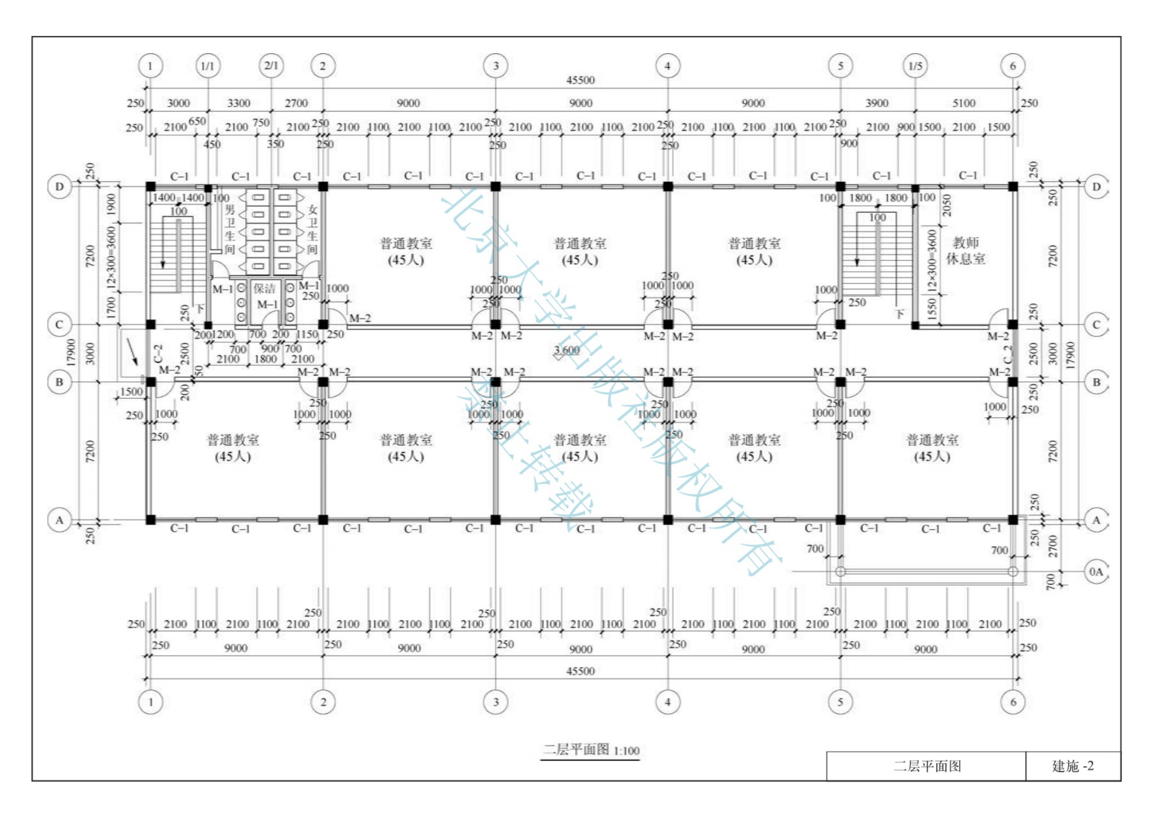


附录B

实例二：框架结构教学楼建筑施工图及结构施工图

一层平面图 1:100

一层平面图	建施 -1



教师
休息室
普通教室
(45人)
女卫生间
男卫生间
保洁
M-1
M-2
C-1
C-2
3.600
45500
17900
二层平面图 1:100
二层平面图
建施-2



①~⑥ 立面图 1:100
⑥~① 立面图 1:100
8.200
7.200
3.600
±0.000
−0.450
6.500
4.500
2.900
0.900
7.100
1000
3600
8200
450
700
2000
900
899
600
立面图
建施 -3

结构设计总说明

1. 工程概况

本工程为 ×× 学校教学楼，位于 ×× 市 ×× 路。主体地上 2 层，室内外高差 0.450m，建筑高度 7.560 m。本工程设计 ±0.000 标高对应黄海高程为 98.500 m。结构体系为全现浇钢筋混凝土框架结构。采用天然地基，柱下独立基础。

2. 建筑结构安全等级及设计使用年限

2.1 建筑结构安全等级：　二级
2.2 设计使用年限：　50 年
2.3 建筑抗震设防类别：　重点设防类（乙类）
2.4 地基基础设计等级：　丙级
2.5 抗震等级：　现浇框架抗震等级为三级，该项目为重点设防类建筑，按高于本地区抗震设防烈度一度的要求加强其抗震措施，即框架采取二级抗震构造措施。

3. 自然条件

3.1 基本风压：　W_0=0.45 kN/m^2　(50 年重现期)
地面粗糙度类别：　B 类
3.2 场地地震基本烈度：　7 度
抗震设防烈度：　7 度 (0.15g)　(设计地震分组第一组)
建筑场地类别为：　Ⅱ 类

4. 场地的工程地质条件

4.1 本工程基础设计依据 ×× 勘测院 2008 年 10 月 20 日提供的 ×× 学校教学楼《岩土工程勘察报告》(详勘) 进行设计，拟建场地自上而下各土层的工程地质特征如下：
(1) 粉土 1 层，层底埋深 2.1 ~ 2.60 m　(3) 粉土 3 层，层底埋深 6.80 ~ 7.50 m
(2) 粉土 2 层，层底埋深 3.80 ~ 4.20 m　(4) 粉土 4 层，层底埋深未揭穿
4.2 地下水条件
场地地下水对混凝土无腐蚀性，对混凝土中钢筋具弱腐蚀性，历史最高水位为自然地坪下 3.00 m
4.3 场地土分析评价
拟建场地无液化及湿陷地质情况，未发现影响工程安全的地下埋藏物，属于可进行建设的一般场地。
4.4 基础方案及结论
根据地质报告建议采用天然地基，独立基础，选择第 1 层作为持力层。

5. 本工程设计遵循的标准、规范、规程

《建筑抗震设防分类标准》　(GB 50223—2008)
《建筑结构荷载规范》　(GB 50009—2012)
《建筑抗震设计规范》　(GB 50011—2010)
《混凝土结构设计规范》　(GB 50010—2010)
《建筑地基基础规范》　(GB 50007—2011)
《混凝土结构工程施工质量验收规范》　(GB 50204—2010)
《建筑结构可靠度设计统一标准》　(GB 50068—2008)
本工程按现行国家设计标准进行设计，施工时除应遵守本说明及各设计图纸说明外，尚应严格执行国家及工程所在地区的有关规范或规程。

6. 设计计算程序

本工程采用中国建筑科学研究院《多层及高层建筑结构空间有限元分析与设计软件 (SATWE)》(2008 年 08 月网络版) 进行结构整体分析，采用《基础 CAD 设计软件 (JCCAD)》(2007 年 08 月网络版) 进行基础设计。

7. 设计采用的荷载标准值 (kN/m^2)

7.1 设计采用的均布活荷载标准值
教师休息室、普通教室、卫生间　2.5
走廊、门厅　3.5
楼梯　3.5
不上人屋面　0.5
7.2 楼梯、屋面等栏杆顶部水平活荷载　0.5
7.3 未经设计许可或技术鉴定，不得改变结构用途和使用环境。

8. 地基基础

8.1 开挖基槽时，不应扰动土的原状结构，机械挖土时应按有关规范要求进行，坑底应保留 200 mm 厚的土层用人工开挖。开挖基槽后，应及时组织验槽。施工中如发现实际情况与地质报告不符或不良地质情况，应及时联系设计、勘察等有关单位协商处理。
8.2 本工程基坑施工时应注意确保道路、现有管线、现有建筑物的安全和施工的顺利进行。非自然放坡开挖时，边坡支护应由有相应设计施工资质的单位承担。

9. 主要结构材料

9.1 混凝土强度等级要求。
基础为 C30，基础垫层为 C15；现浇框架柱、梁、楼板及楼梯均采用 C30 混凝土；构造柱、过梁等非承重构件为 C20。
9.2 钢筋及钢材。
(1) 钢筋采用　HPB300 级 (Φ)；HRB400 级 (Φ)。
钢筋设计强度　HRB400：f_y=f'_y=360 N/mm^2。HPB300：f_y=f'_y=210 N/mm^2。
纵向受力钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25；钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于 1.3；且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于 9%。
(2) 钢板采用 Q235-B 钢。
9.3 焊条：HPB300 钢筋采用 E43 系列焊条。HRB400 钢筋采用 E60 系列焊条，钢筋焊接依据《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—2003)。
9.4 油漆：凡外露钢铁件必须在除锈后涂防腐漆、面漆两道，并经常注意维护。
9.5 填充墙。
(1) 砌块：±0.000 以下墙体采用 MU10 非黏土类实心砖；以上填充墙体均为加气混凝土砌块（体积密度级别为 B06，强度级别为 A3.5，砌筑等级为 B 级），卫生间地 / 楼面以上 300mm 高范围内用 C20 素混凝土。
(2) 砂浆：±0.000 以内采用 M7.5 水泥砂浆，其他部位均为 M5 混合砂浆。

10. 结构构造

10.1 本工程采用国家标准图《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》(11G101—1、11G101—3) 的表示方法。施工图中未注明的构造要求应按照标准图的有关要求执行。
10.2 主筋的混凝土保护层厚度如下表所示。基础钢筋混凝土保护层厚度为 40 mm。

环境类别	板	梁	柱	环境类别	板	梁	柱
一	15	25	30	二 b	25	35	35
二 a	20	30	30				

注：各部分主筋混凝土保护层厚度同时应满足不小于钢筋直径的要求。各构件中可以采用不低于相应混凝土构件强度等级的素混凝土垫块来控制主筋的保护层厚度。
10.3 结构混凝土环境类别及耐久性的基本要求。
±0.000 以下结构、上部雨篷女儿墙为二 b 类，卫生间为二 a 类；其他为一类。耐久性基本要求见下表。

环境类别	最大水灰比	最小水泥用量 /(kg/m^3)	最大氯离子含量 /%	最大碱含量 /(kg/m^3)
一	0.65	225	1.0	不限制
二 a	0.60	250	0.3	3.0
二 b	0.55	275	0.2	3.0

10.4 钢筋锚固及连接：受拉钢筋的锚固长度及搭接长度均详见 11G101—1 第 33、34 页。当有些部位的锚固长度不能满足 $0.4L_{aE}$ + 15d 时，应采用机械锚固，其形式及构造要求详见 11G101—1 第 35 页。钢筋焊接应按《钢筋焊接及验收规程》(JGJ 18—2003) 的有关规定执行。钢筋机械连接应按《钢筋机械连接通用技术规程》(JGJ 107—2003) 的有关规定执行。
10.5 钢筋接头：框架柱的纵筋应采用 Ⅱ 级机械连接或焊接，其构造大样详见 11G101—1 第 36、49 页。其他各类构件接头位置及连接构造详见 02YG002。
10.6 楼板、屋面板的构造要求。
(1) 双向板的底部钢筋，长跨钢筋置上排，短跨钢筋置下排。跨度大于 3.6 m 的板施工时应按规范要求起拱。
(2) 板的底部钢筋伸入支座 ≥ 10d 且至少伸至梁的中心线。
(3) 板内分布钢筋包括楼梯跑板，除注明者外均为Φ8@200。
(4) 当板与梁底平时，板底筋伸入梁内须置于梁下部纵筋之上。
(5) 梁的腰筋按锚固要求伸入混凝土框架柱内，长度满足钢筋锚固长度。
(6) 板上孔洞应预留，一般结构平面图中只表示出洞口尺寸 ≥ 300 mm 的孔洞，施工时各工种必须根据各专业图纸配合土建预留全部孔洞，不得后凿。当孔洞尺寸 ≤ 300 mm 时，洞边不再另加钢筋，板内外钢筋由洞边绕过，不得截断（图一）。当洞口尺寸 >300 mm 时，应设洞边加筋，按平面图示出的要求施工。当平面图未交代时，一般按图二要求。
(7) 混凝土现浇板内需预埋管道时，其管道应位于板厚度中部 1/3 范围内，以防止因埋管造成的混凝土现浇板裂缝。当板内埋管处板面没有钢筋时，应沿埋管方向增设 400 宽Φ6@200 钢筋网片。

11. 填充墙构造要求

11.1 加气混凝土砌块墙体应在主体结构施工完成后逐层砌筑，每层砌块砌至板底或梁底附近时，应待砌块沉实后（一般 7 天），再用斜砖塞紧砌实。
11.2 砌体填充墙其洞口过梁可按河南省省标 02YG301 选用矩形断面即 A 型，荷载级别为 2 级，支承长度不小于 250 mm，过梁可采用预制或现浇。过梁紧邻框架柱时，注意预留过梁插筋和门洞埋件。
11.3 填充墙的砌筑构造见《蒸压加气混凝土砌块建筑构造》(03J104) 图集的具体要求。

12. 构造柱的设置要求及框架柱、构造柱与填充墙体的拉结要求

12.1 本工程所有楼面的内外填充墙交接处，较小的 (<100mm) 外墙墙垛，填充墙上较大洞口两侧 (≥ 2100mm) 均应设置钢筋混凝土构造柱、墙长大于等于 5 m时应增设构造柱；构造柱断面 200mm × 墙厚，配筋 4Φ12，Φ6@100/200。构造柱的设置方案参考图三。
12.2 本工程所有填充墙与混凝土抗震墙和构造柱之间都必须采取以下拉结措施。
沿填充墙高每隔 500 mm（砖墙）或二皮砌块。在墙宽范围留出 2Φ6 拉结钢筋拉结钢筋锚入框架柱或构造柱内 30 d，伸入填充墙内长度 ≥ 700 mm 且 ≥ 1/5 墙长或伸至较小墙垛边两端加弯钩，填充墙顶应用斜砖塞紧。

13. 防雷接地结构措施

对于电气专业（详见电施相关图纸）有避雷或接地要求的混凝土柱内应有四根钢筋上下焊通作为引下线，施工中应将这两根钢筋做好标记以利施工防雷引下线下端与基础内钢筋焊牢。
上端伸出对应屋面飘板挑沿面与屋面防雷网相焊。

14. 凡图中未做说明，遇下述情况时做如下处理

14.1 梁边与柱边相齐时，梁的钢筋从柱钢筋内侧绕过。
14.2 楼梯踏步上的预埋件，请参照建施选定的相关图集要求预留。楼梯间分开施工时，应注意在相邻的梁处预留钢筋。
14.3 本工程为现浇混凝土结构，土建施工单位对各专业的留洞留槽及预埋件现场需配合各工种图纸进行核对，且与安装单位密切配合施工，正确预留图中所注明的留洞、留槽及预埋件。
14.4 建筑门窗和屋面女儿墙、楼梯、栏板等的预埋件，必须配合建筑图纸和其总说明有关部分要求施工。
14.5 本工程开工前应由建设单位、施工、设计三方进行图纸会审工作，弄清设计意图，对图纸上的错漏及时提出复核无误后方可施工。
14.6 结构总说明与单项设计不一致时以单项设计规定为准。
14.7 本图纸说明未尽之外，按相关施工及验收规范，规程要求认真施工。
14.8 本图纸未详尽之构造做法均按 11G101—1 执行。
14.9 悬挑构件需待混凝土设计强度达到 100% 方可拆除底模。
14.10 当梁与柱斜交时，梁的纵向钢筋应放样下料，满足钢筋锚固长度的要求。
14.11 本套结构施工图纸中标高均为 m，尺寸为 mm。

图一

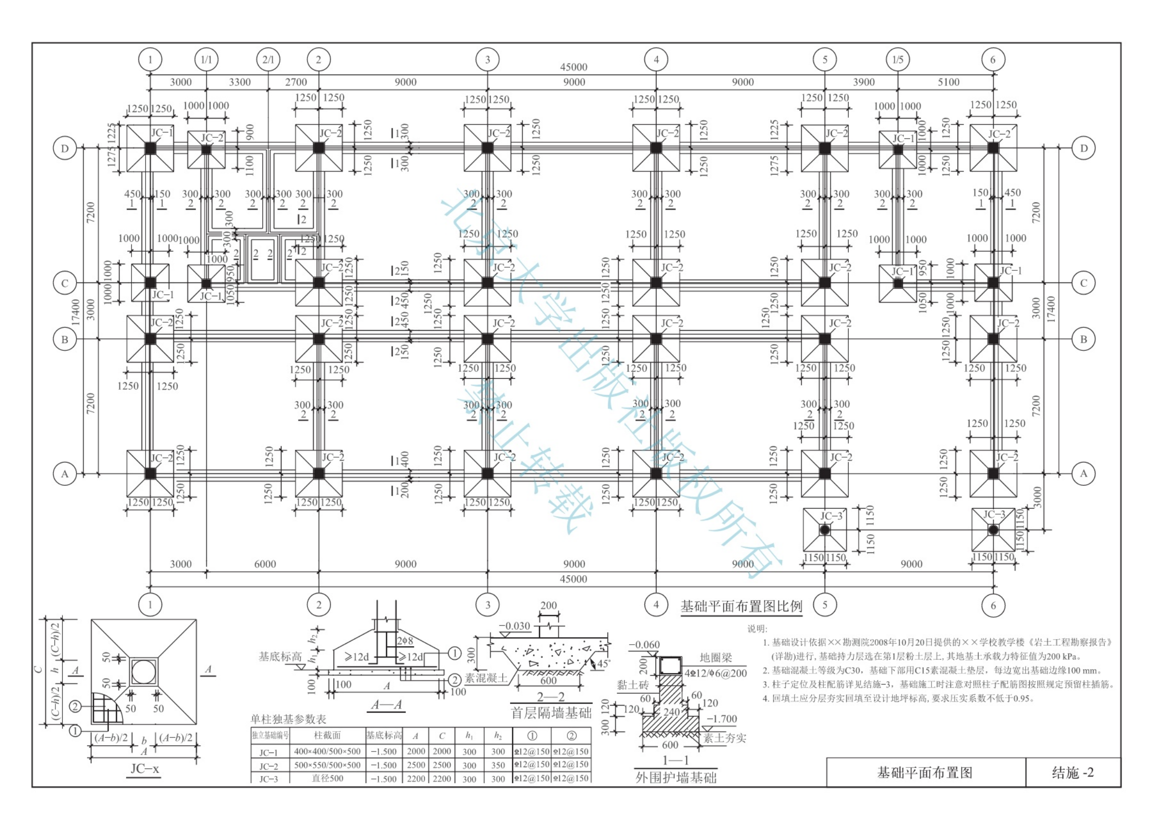
图二

图三
构造柱锚固预埋钢筋方案

图 纸 目 录

图纸编号		图 纸 名 称	图纸规格
新图	标、通、统、重用图		
1	结 -01	结构设计总说明和图纸目录	A2
2	结 -02	基础平面图和基础详图	A2
3	结 -03	柱平法施工图	A2
4	结 -04	楼面板模板配筋图	A2
5	结 -05	楼面梁平法施工图	A2
6	结 -06	屋面板模板配筋图	A2
7	结 -07	屋面梁平法施工图	A2
8	结 -08	楼梯结构详图	A2
	03J104	蒸压加气混凝土砌块建筑构造	
	02YG002	钢筋混凝土结构抗震构造详图	
	02YG301	钢筋混凝土过梁	

结构设计总说明及图纸目录　结施 -1



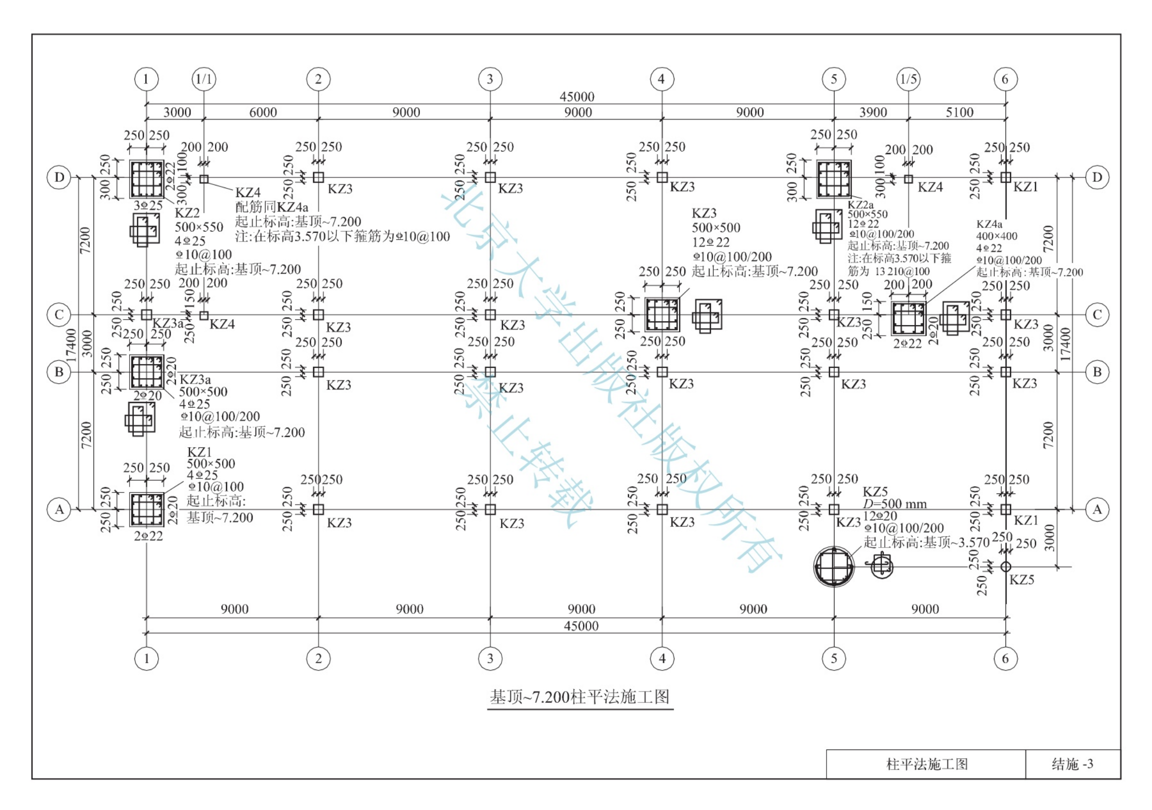
单柱独基参数表

独立基础编号	柱截面	基底标高	A	C	h_1	h_2	①	②
JC−1	400×400/500×500	−1.500	2000	2000	300	300	Φ12@150	Φ12@150
JC−2	500×550/500×500	−1.500	2500	2500	300	350	Φ12@150	Φ12@150
JC−3	直径500	−1.500	2200	2200	300	300	Φ12@150	Φ12@150

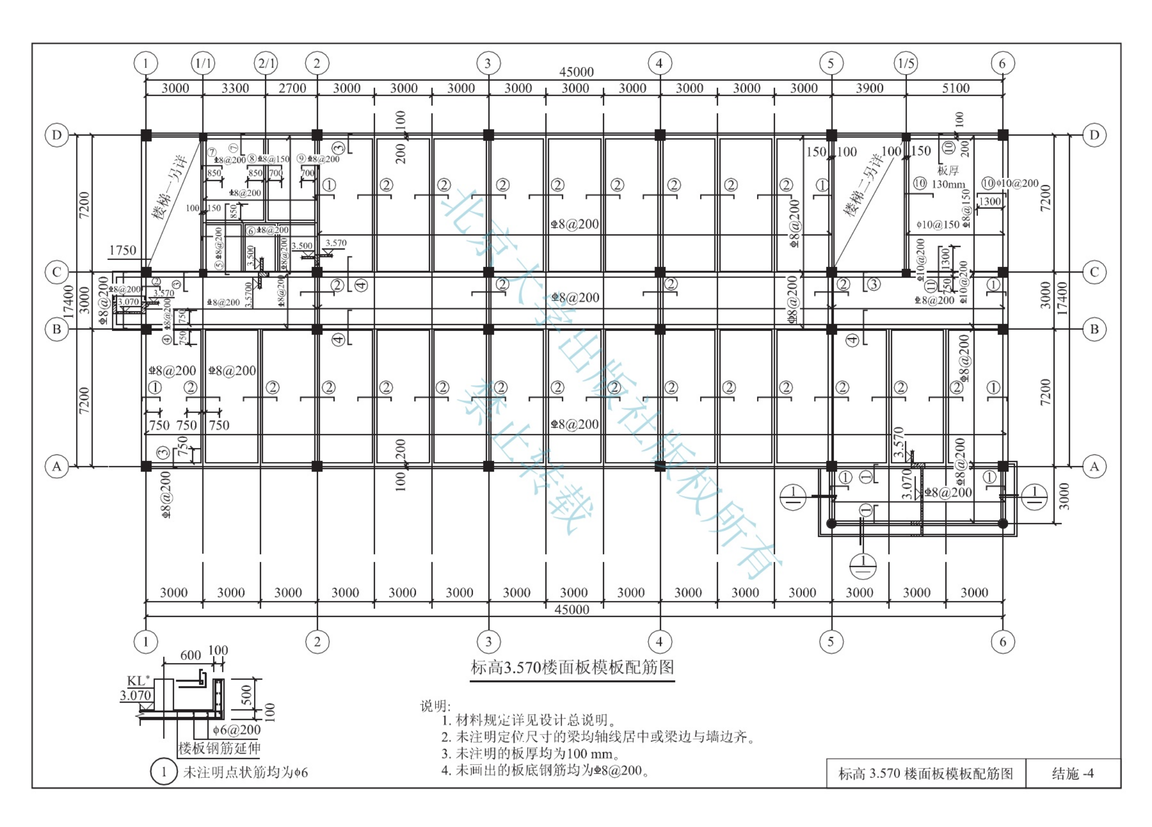
说明：

1. 基础设计依据××勘测院2008年10月20日提供的××学校教学楼《岩土工程勘察报告》(详勘)进行，基础持力层选在第1层粉土层上，其地基土承载力特征值为200 kPa。
2. 基础混凝土等级为C30，基础下部用C15素混凝土垫层，每边宽出基础边缘100 mm。
3. 柱子定位及柱配筋详见结施−3，基础施工时注意对照柱子配筋图按照规定预留柱插筋。
4. 回填土应分层夯实回填至设计地坪标高，要求压实系数不低于0.95。

基础平面布置图 | 结施 -2



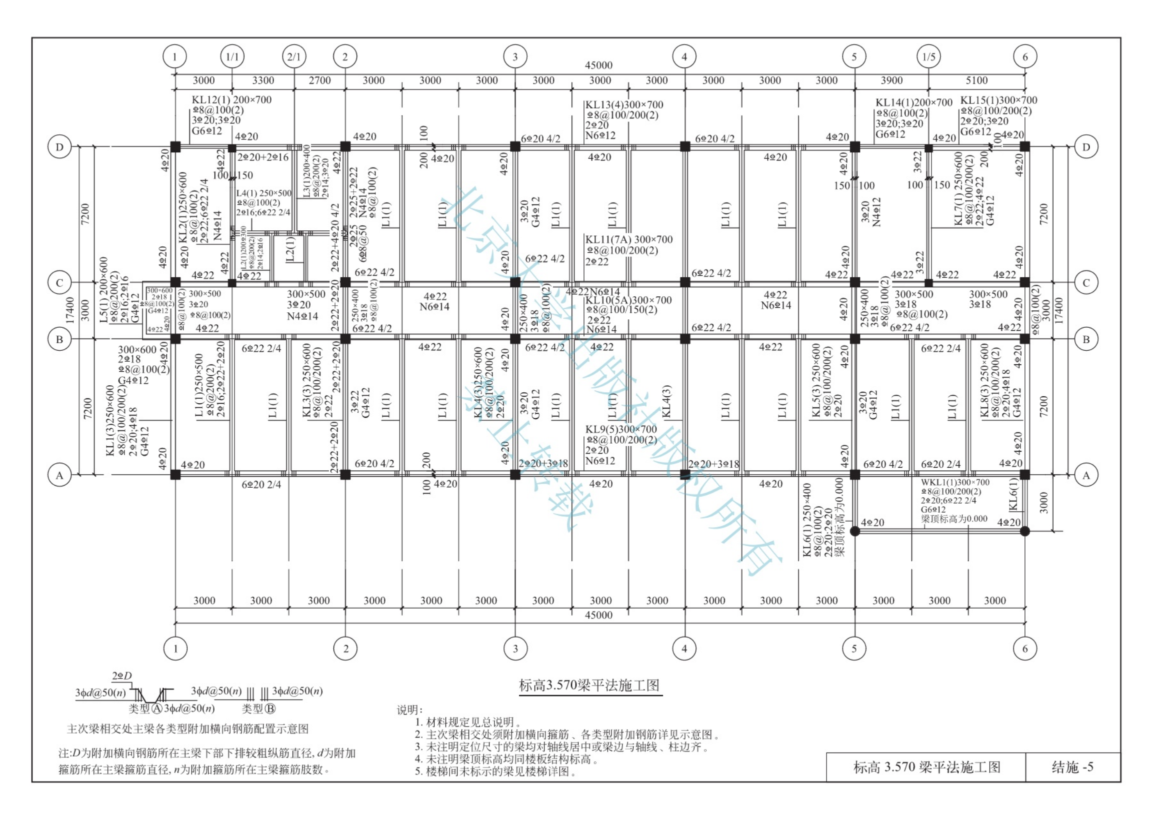
基顶~7.200柱平法施工图



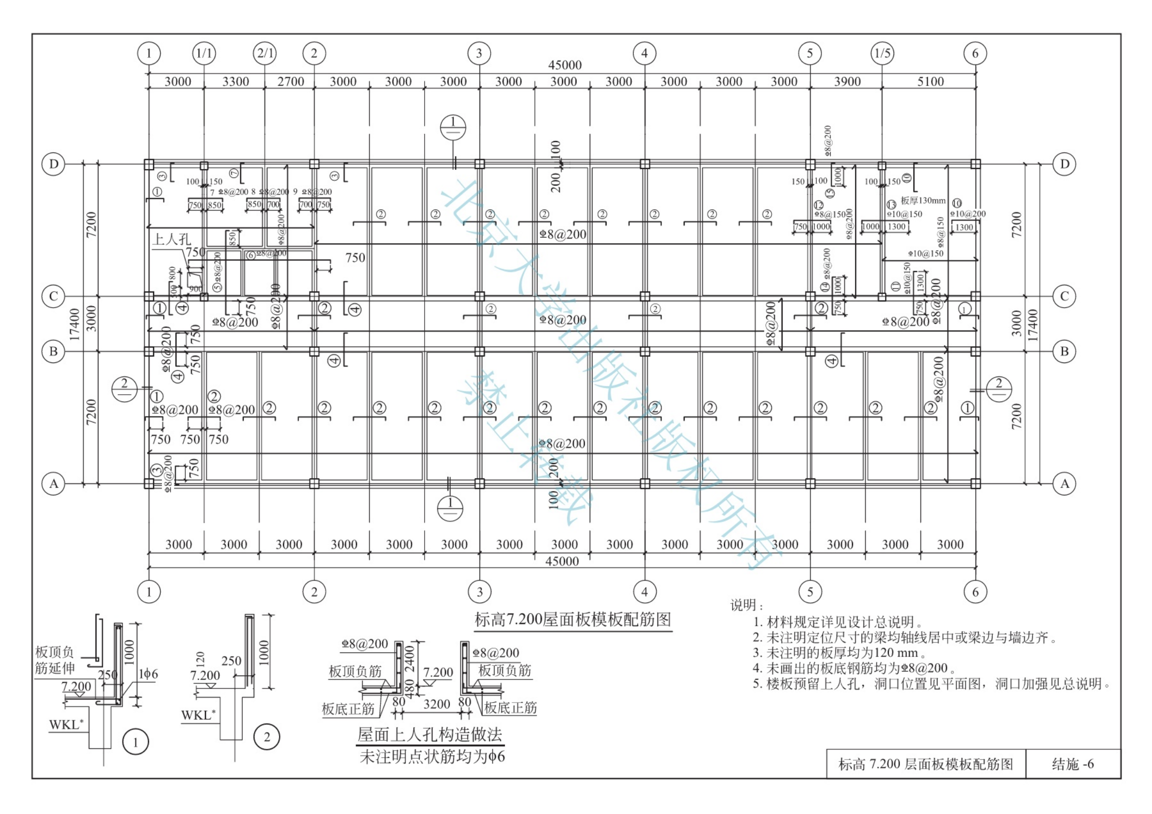
标高3.570楼面板模板配筋图

说明:
1. 材料规定详见设计总说明。
2. 未注明定位尺寸的梁均轴线居中或梁边与墙边齐。
3. 未注明的板厚均为100 mm。
4. 未画出的板底钢筋均为⌀8@200。

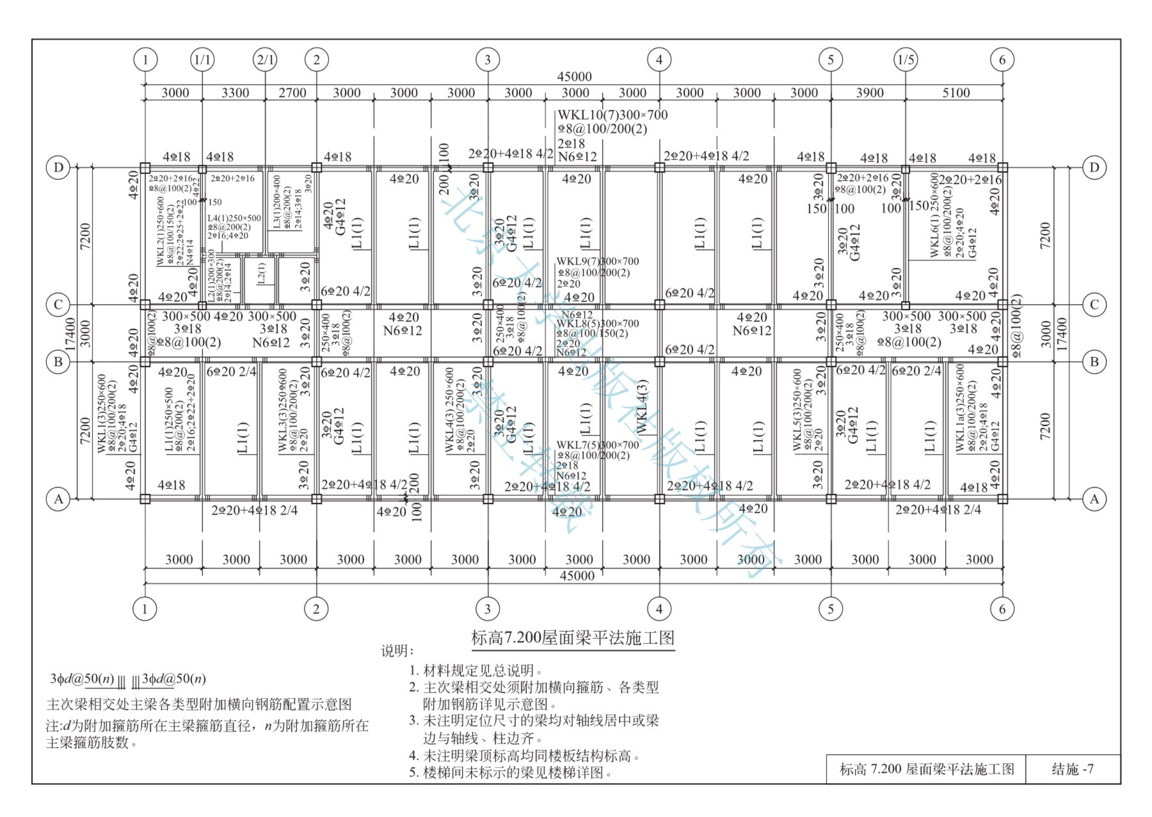
标高 3.570 楼面板模板配筋图	结施 -4

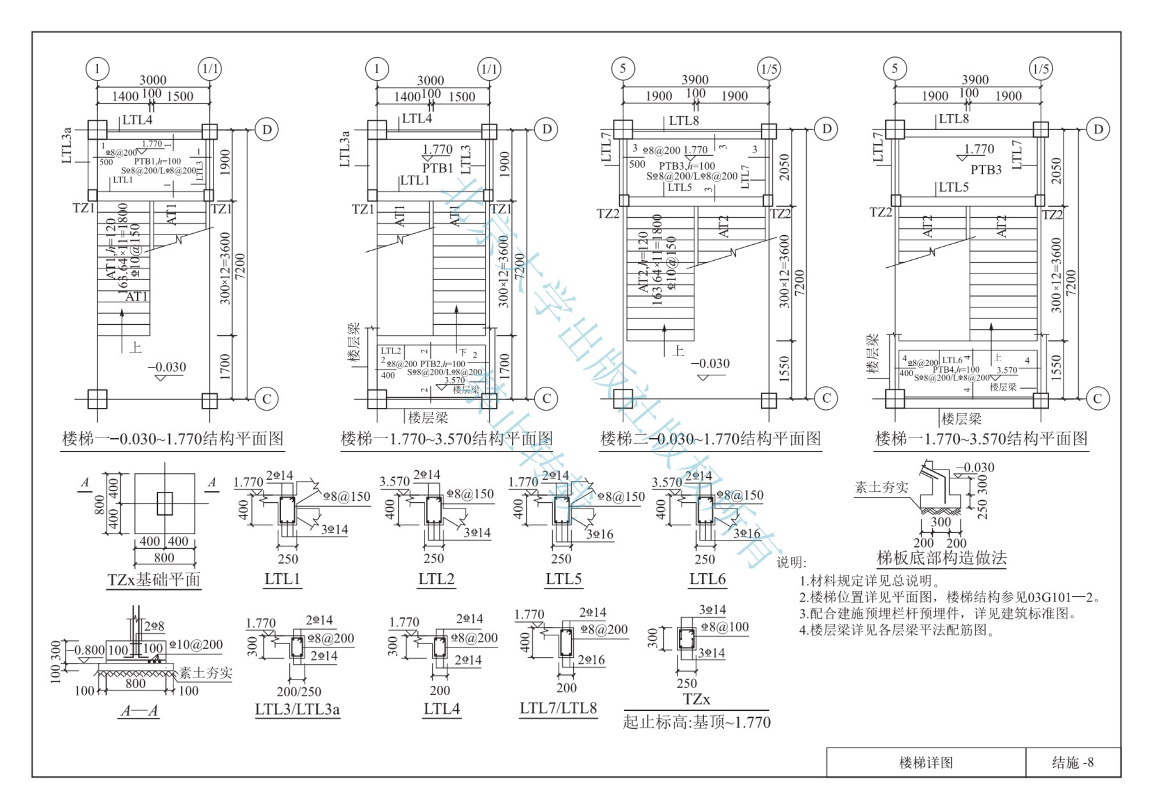


标高3.570梁平法施工图
说明：
1. 材料规定见总说明。
2. 主次梁相交处须附加横向箍筋、各类型附加钢筋详见示意图。
3. 未注明定位尺寸的梁均对轴线居中或梁边与轴线、柱边齐。
4. 未注明梁顶标高均同楼板结构标高。
5. 楼梯间未标示的梁见楼梯详图。
类型Ⓐ
类型Ⓑ
主次梁相交处主梁各类型附加横向钢筋配置示意图
注:D为附加横向钢筋所在主梁下部下排较粗纵筋直径，d为附加箍筋所在主梁箍筋直径，n为附加箍筋所在主梁箍筋肢数。
标高 3.570 梁平法施工图
结施 -5
北京大学出版社版权所有
禁止转载



标高7.200屋面板模板配筋图
上人孔
板厚130mm
板顶负筋延伸
WKL*
屋面上人孔构造做法
未注明点状筋均为φ6
板顶负筋
板底正筋
说明：
1. 材料规定详见设计总说明。
2. 未注明定位尺寸的梁均轴线居中或梁边与墙边齐。
3. 未注明的板厚均为120 mm。
4. 未画出的板底钢筋均为Φ8@200。
5. 楼板预留上人孔，洞口位置见平面图，洞口加强见总说明。
标高 7.200 层面板模板配筋图
结施 -6


标高7.200屋面梁平法施工图
说明：
1. 材料规定见总说明。
2. 主次梁相交处须附加横向箍筋、各类型附加钢筋详见示意图。
3. 未注明定位尺寸的梁均对轴线居中或梁边与轴线、柱边齐。
4. 未注明梁顶标高均同楼板结构标高。
5. 楼梯间未标示的梁见楼梯详图。
3ϕd@50(n) 3ϕd@50(n)
主次梁相交处主梁各类型附加横向钢筋配置示意图
注:d为附加箍筋所在主梁箍筋直径，n为附加箍筋所在主梁箍筋肢数。
标高 7.200 屋面梁平法施工图
结施 -7



说明:

1.材料规定详见总说明。
2.楼梯位置详见平面图，楼梯结构参见03G101—2。
3.配合建施预埋栏杆预埋件，详见建筑标准图。
4.楼层梁详见各层梁平法配筋图。

楼梯详图 | 结施 -8



附录C

常用荷载表



表 C1　常用材料和构件自重表

名　　称	自重 /(kN/m^3)	备　　注
铸铁	72.5	
钢	78.5	
铝合金	28	
耐火砖	19 ～ 22	230 mm × 110 mm × 65 mm(609 块 /m^3)
灰砂砖	18	砂：白灰 =92 ：8
煤渣砖	17 ～ 18.5	
蒸压粉煤灰砖	14.0 ～ 16.0	干重度
蒸压粉煤灰加气混凝土砌块	5.5	
混凝土空心小砌块	11.8	390 mm × 190 mm × 190 mm
石灰砂浆、混合砂浆	17	
水泥石灰焦渣砂浆	14	
石灰炉渣	10 ～ 12	
水泥炉渣	12 ～ 14	
石灰焦渣砂浆	13	
灰土	17.5	石灰：土 =3 ：7，夯实
纸筋石灰	16	
石灰三合土	17.5	石灰、砂、卵石
水泥砂浆	20	
水泥蛭石砂浆	5 ～ 8	
素混凝土	22 ～ 24	振捣或不振捣
泡沫混凝土	4 ～ 6	
加气混凝土	5.5 ～ 7.5	单块
钢筋混凝土	24 ～ 25	
普通玻璃	25.6	
浆砌机砖	19	
浆砌耐火砖	22	
浆砌焦渣砖	12.5 ～ 14	
水磨石地面	0.65 kN/m^2	10 mm 面层，20 mm 水泥砂浆打底
硬木地板	0.2 kN/m^2	
木块地面	0.7 kN/m^2	
钢屋架	0.12 ＋ 0.011l kN/m^2	无天窗，包括支撑，按屋面水平投影面积计算，跨度 l 以 m 计
钢框玻璃窗	0.4 ～ 0.45 kN/m^2	
木门	0.1 ～ 0.2 kN/m^2	
钢铁门	0.4 ～ 0.45 kN/m^2	
石棉板瓦	0.18 kN/m^2	仅瓦自重
波形石棉瓦	0.2 kN/m^2	1820 mm × 725 mm × 8 mm
镀锌薄钢板	0.05 kN/m^2	24 号

（续）

名　称	自重 /(kN/m^3)	备　注
油毡防水屋面（包括改性沥青防水卷材）	0.05 kN/m2	一层油毡刷油两遍
	0.25 ～ 0.3 kN/m2	四层做法，一毡二油上铺小石子
	0.3 ～ 0.35 kN/m2	六层做法，二毡三油上铺小石子
	0.35 ～ 0.4 kN/m2	八层做法，三毡四油上铺小石子

表 C2　民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数

项次	类　别	标准值 /(kN/m^2)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园 (2) 实验室、阅览室、会议室、医院门诊室	2.0	0.7	0.5 0.6	0.4 0.5
2	教室、食堂、餐厅、一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5
3	(1) 礼堂、剧场、影院、有固定座位的看台 (2) 公共洗衣房	3.0 3.0	0.7 0.7	0.5 0.6	0.3 0.5
4	(1) 商店、展览厅、车站、港口、机场大厅及旅客等候室 (2) 无固定座位的看台	3.5 3.5	0.7 0.7	0.6 0.5	0.5 0.3
5	(1) 健身房、演出舞台 (2) 舞厅	4.0 4.0	0.7 0.7	0.6 0.6	0.5 0.3
6	(1) 书库、档案库、储藏室 (2) 密集柜书库	5.0 12.0	0.9	0.9	0.8
7	通风机房、电梯机房	7.0	0.9	0.9	0.8
8	汽车通道及客车停车库： (1) 单向板楼盖（板跨不小于 2 m）和双向板楼盖（板跨不小于 3 m × 3 m） 客车 消防车 (2) 双向板楼盖（板跨不小于 6 m × 6 m）和无梁楼盖（柱网尺寸不小于 6 m × 6 m） 客车 消防车	 4.0 35.0 2.5 20.0	 0.7 0.7 0.7 0.7	 0.7 0.7 0.7 0.7	 0.6 0.6 0.6 0.6
9	厨房：(1) 一般的 (2) 餐厅的	2.0 4.0	0.7 0.7	0.6 0.7	0.5 0.7
10	浴室、厕所、盥洗室	2.5	0.7	0.6	0.5
11	走廊、门厅： (1) 宿舍、旅馆、医院病房、托儿所、幼儿园、住宅 (2) 办公楼、餐厅、医院门诊部 (3) 教学楼及其他可能出现人员密集的情况	 2.0 2.5 3.5	 0.7 0.7 0.7	 0.5 0.6 0.5	 0.4 0.5 0.3
12	阳台： (1) 一般情况 (2) 当人群有可能密集时	 2.5 3.5	 0.7 0.7	 0.6 0.6	 0.5 0.5
13	楼梯： (1) 多层住宅 (2) 其他	 2.0 3.5	 0.7 0.7	 0.5 0.5	 0.4 0.3

注：1. 本表所给各项活荷载适用于一般使用条件，当使用荷载较大或情况特殊时，应按实际情况采用。
2. 第 6 项书库活荷载当书架高度大于 2 m 时，书库活荷载尚应按每米书架高度不小于 2.5 kN/m^2 确定。
3. 第 8 项中的客车活荷载只适用于停放载人少于 9 人的客车；消防车活荷载是适用于满载总重为 300 kN 时的大型车辆；当不符合本表的要求时，应将车轮的局部荷载按结构效应的等效原则，换算为等效均布荷载。
4. 第 13 项楼梯活荷载，对预制楼梯踏步平板，尚应按 1.5 kN 集中荷载验算。
5. 本表各项荷载不包括隔墙自重和二次装修荷载。对固定隔墙的自重应按恒荷载考虑，当隔墙位置可灵活自由布置时，非固定隔墙的自重应取每延米长墙重 (kN/m) 的 1/3 作为楼面活荷载的附加值 (kN/m^2) 计入，附加值不小于 1.0 kN/m^2。
6. 第 8 项消防车活荷载，当双向板楼盖板跨介于 3 m × 3 m ～ 6 m × 6 m 之间时，应按跨度线性插值确定。

表 C3　屋面均布活荷载

项次	类　别	标准值 /(kN/m^2)	组合值系数 Ψ_c	频遇值系数 Ψ_f	准永久值系数 Ψ_q
1	不上人的屋面	0.5	0.7	0.5	0
2	上人的屋面	2.0	0.7	0.5	0.4
3	屋顶花园	3.0	0.7	0.6	0.5
4	屋顶运动场地	3.0	0.7	0.6	0.4

注：1. 不上人的屋面，当施工或维修荷载较大时，应按实际情况采用；对不同结构应按有关设计规范的规定采用，但不得低于 0.3 kN/m^2。
2. 上人的屋面，当兼作其他用途时，应按相应楼面活荷载采用。
3. 对于因屋面排水不畅、堵塞等引起的积水荷载，应采取构造措施加以防止；必要时，应按积水的可能深度确定屋面活荷载。
4. 屋顶花园活荷载不包括花圃土石等材料自重。



附录D

钢筋混凝土用表



表 D1 普通钢筋强度标准值、强度设计值及弹性模量

牌号	符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{yk} /(N/mm²)	极限强度标准值 f_{stk} /(N/mm²)	抗拉强度设计值 f_y /(N/mm²)	抗压强度设计值 f'_y /(N/mm²)	钢筋弹性模量 /(×10⁵N/mm²)
HPB300	ϕ	6 ～ 22	300	420	270	270	2.10
HRB335	ϕ	6 ～ 50	335	455	300	300	2.00
HRBF335	$ϕ^F$						
HRB400	ϕ	6 ～ 50	400	540	360	360	2.00
HRBF400	$ϕ^F$						
RRB400	$ϕ^R$						
HRB500	Φ	6 ～ 50	500	630	435	410	2.00
HRBF500	$Φ^F$						

表 D2 预应力钢筋强度标准值、预应力钢筋强度设计值、预应力钢筋弹性模量

种类		符号	公称直径 d/mm	屈服强度标准值 f_{ptk} /(N/mm²)	极限强度标准值 f_{pyk} /(N/mm²)	抗拉强度设计值 f_{py} /(N/mm²)	抗压强度设计值 f'_{py} /(N/mm²)	弹性模量 E_s/(×10⁵N/mm²)
中强度预应力钢丝	光面 螺旋肋	$ϕ^{PM}$ $ϕ^{HM}$	5、7、9	620	800	510	410	2.05
				780	970	650		
				980	1270	810		
预应力螺纹钢筋	螺纹		18、25、32、40、50	785	980	650	410	2.00
				930	1080	770		
				1080	1230	900		
消除应力钢丝	光面 螺旋肋	$ϕ^P$ $ϕ^H$	5	1380	1570	1110	410	2.05
				1640	1860	1320		
			7	1380	1570	1110		
			9	1290	1470	1040		
				1380	1570	1110		
钢绞线	1×3 （三股）	$ϕ^S$	8.6、10.8、12.9	1410	1570	1110	390	1.95
				1670	1860	1320		
				1760	1960	1390		
	1×7 （七股）		9.5、12.7、15.2、17.8	1540	1720	1220		
				1670	1860	1320		
				1760	1960	1390		
			21.6	1590	1770	—		
				1670	1860	1320		

注：当预应力筋的强度标准值不符合表中规定时，其强度设计值应进行相应的比例换算。

表 D3　混凝土强度标准值、混凝土强度设计值和混凝土弹性模量

强度种类		轴心抗压强度 /(N/mm^2)		轴心抗拉强度 /(N/mm^2)		弹性模量 ($\times 10^4$)
符号		标准值 f_{ck}	设计值 f_c	标准值 f_{tk}	设计值 f_t	E_c
混凝土强度等级	C15	10.0	7.2	1.27	0.91	2.20
	C20	13.4	9.6	1.54	1.10	2.55
	C25	16.7	11.9	1.78	1.27	2.80
	C30	20.1	14.3	2.01	1.43	3.00
	C35	23.4	16.7	2.20	1.57	3.15
	C40	26.8	19.1	2.39	1.71	3.25
	C45	29.6	21.1	2.51	1.80	3.35
	C50	32.4	23.1	2.64	1.89	3.45
	C55	35.5	25.3	2.74	1.96	3.55
	C60	38.5	27.5	2.85	2.04	3.60
	C65	41.5	29.7	2.93	2.09	3.65
	C70	44.5	31.8	2.99	2.14	3.70
	C75	47.4	33.8	3.05	2.18	3.75
	C80	50.2	35.9	3.11	2.22	3.80

表 D4　混凝土结构的环境类别

环境类别	条　　件
一	室内干燥环境； 无侵蚀性水浸没环境
二 a	室内潮湿环境； 非严寒和非寒冷地区的露天环境； 非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境； 严寒和寒冷地区冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
二 b	干湿交替环境； 水位频繁变动环境； 严寒和寒冷地区的露天环境； 严寒和寒冷地区冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
三 a	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境； 受冰盐影响环境； 海风环境
三 b	盐渍土环境； 受除冰盐作用环境； 海岸环境
四	海水环境
五	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

注：1. 室内潮湿环境是指构件表面经常处于结露或湿润状态的环境。

2. 严寒和寒冷地区的划分应符合国家现行标准《民用建筑热工设计规程》(GB 50176—2016)的有关规定。

3. 海岸环境和海风环境宜根据当地情况，考虑主导风向及结构所处迎风、背风部位等因素的影响，由调查研究和工程经验确定。

4. 受除冰盐影响环境为受到除冰盐盐雾影响的环境。受除冰盐作用环境指被除冰盐溶液溅射的环境以及使用除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑。

5. 暴露的环境是指混凝土结构表面所处的环境。

表 D5　结构混凝土材料的耐久性基本要求

环境类别	最大水胶比	最低强度等级	最大氯离子含量 /%	最大碱含量 /(kg/m^3)
一	0.60	C20	0.3	不限制
二 a	0.55	C25	0.2	3.0
二 b	0.50(0.55)	C30(C25)	0.15	
三 a	0.45(0.50)	C35(C30)	0.15	
三 b	0.40	C40	0.10	

注：1. 氯离子含量系指其占胶凝材料总量的百分比。
2. 预应力构件混凝土中的最大氯离子含量为 0.05%；最低混凝土强度等级应按表中规定提高两个等级。
3. 素混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松。
4. 当有可靠工程经验时，二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级。
5. 处于严寒和寒冷地区二 b、三 a 类环境中的混凝土应使用引气剂，并可采用括号中的有关参数。
6. 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不做限制。

表 D6　混凝土保护层的最小厚度 *c*　　单位：mm

环境等级	板、墙、壳	梁、柱
一	15	20
二 a	20	25
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

注：1. 混凝土强度等级不大于 C25 时，表中保护层厚度数值应增加 5 mm。
2. 钢筋混凝土基础宜设置混凝土垫层，其受力钢筋的混凝土保护层厚度应从垫层顶面算起，且不应小于 40 mm。

表 D7　现浇钢筋混凝土板的最小厚度　　单位：mm

板的类别		最小厚度
单向板	屋面板	60
	民用建筑楼板	60
	工业建筑楼板	70
	行车道下的楼板	80
双向板		80
密肋楼盖	面板	50
	肋高	250
悬臂板 (固定端)	悬臂长度不大于 500 mm	60
	悬臂长度 1200 mm	100
无梁楼盖		150
现浇空心楼板		200

表 D8　钢筋混凝土构件中纵向受力钢筋的最小配筋百分率 ρ_{min}　　单位：%

受力类型			最小配筋百分率
受压构件	全部纵向钢筋	强度级别 500 N/mm^2	0.50
		强度级别 400 N/mm^2	0.55
		强度级别 300 N/mm^2、335 N/mm^2	0.60
	一侧纵向钢筋		0.20
受弯构件、偏心受拉、轴心受拉构件一侧的受拉钢筋			0.20 和 $45f_t/f_y$ 中的较大值

注：1. 受压构件全部纵向钢筋最小配筋百分率，当采用 C60 及以上强度等级的混凝土时，应按表中规定增大 0.10。
2. 板类受弯构件的受拉钢筋，当采用强度级别 400 N/mm^2、500 N/mm^2 的钢筋时，其最小配筋百分率应允许采用 0.15 和 f_t/f_y 中的较大值。
3. 偏心受拉构件中的受压钢筋，应按受压构件一侧纵向钢筋考虑。
4. 受压构件的全部纵向钢筋和一侧纵向钢筋的配筋率以及轴心受拉构件和小偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率应按构件的全截面面积计算。
5. 受弯构件、大偏心受拉构件一侧受拉钢筋的配筋率应按全截面面积扣除受压翼缘面积 $(b'_f - b)h'_f$ 后的截面面积计算。
6. 当钢筋沿构件截面周边布置时，“一侧纵向钢筋”系指沿受力方向两个对边中的一边布置的纵向钢筋。

表 D9　钢筋的计算截面面积及公称质量表

直径 d/mm	不同根数钢筋的计算截面面积 /mm^2									单根钢筋公称质量 /(kg/m)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	28.3	57	85	113	142	170	198	226	255	0.222
6.5	33.2	66	100	133	166	199	232	265	199	0.260
8	50.3	101	151	201	252	302	352	402	453	0.395
8.2	52.8	106	158	211	264	317	370	423	475	0.432
10	78.5	157	236	314	393	471	550	628	707	0.617
12	113.1	226	339	452	565	678	791	904	1017	0.888
14	153.9	308	461	615	769	923	1077	1230	1387	1.21
16	201.1	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1809	1.58
18	254.5	509	763	1017	1272	1526	1780	2036	2290	2.00(2.11)
20	314.2	628	941	1256	1570	1884	2200	2513	2827	2.47
22	380.1	760	1140	1520	1900	2281	2661	3041	3421	2.98
25	490.9	982	1473	1964	2454	2945	3436	3927	4418	3.85(4.10)
28	615.3	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542	4.83
32	804.3	1609	2418	3217	4021	4826	5630	6434	7238	6.31(6.65)
36	1017.9	2036	3054	4072	5089	6107	7125	8143	9161	7.99
40	1256.1	2513	3770	5027	6283	7540	8796	10053	11310	9.87(10.34)
50	1963.5	3928	5892	7856	9820	11784	13748	15712	17676	15.42(16.28)

注：括号内为预应力螺纹钢筋的数值。

表 D10 各种钢筋按一定间距排列时每米板宽内的钢筋截面面积表

钢筋间距 /mm	当钢筋直径 (mm) 为下列数值时的钢筋截面面积 /mm^2													
	3	4	5	6	6/8	8	8/10	10	10/12	12	12/14	14	14/16	16
70	101.0	179	281	404	561	719	920	1121	1369	1616	1908	2199	2536	2872
75	94.3	167	262	377	524	671	859	1047	1277	1508	1780	2053	2367	2681
80	88.4	157	245	354	491	629	805	981	1198	1414	1669	1924	2218	2513
85	83.2	148	231	333	462	592	758	924	1127	1331	1571	1811	2088	2365
90	78.5	140	218	314	437	559	716	872	1064	1257	1484	1710	1972	2234
95	74.5	132	207	298	414	529	678	826	1008	1190	1405	1620	1868	2116
100	70.6	126	196	283	393	503	644	785	958	1131	1335	1539	1775	2011
110	64.2	114.0	178	257	357	457	585	714	871	1028	1214	1399	1614	1828
120	58.9	105.0	163	236	327	419	537	654	798	942	1112	1283	1480	1676
125	56.5	100.6	157	226	314	402	515	628	766	905	1068	1232	1420	1608
130	54.4	96.6	151	218	302	387	495	604	737	870	1027	1184	1366	1547
140	50.5	89.7	140	202	281	359	460	561	684	808	954	1100	1268	1436
150	47.1	83.8	131	189	262	335	429	523	639	754	890	1026	1183	1340
160	44.1	78.5	123	177	246	314	403	491	599	707	834	962	1110	1257
170	41.5	73.9	115	166	231	296	379	462	564	665	786	906	1044	1183
180	39.2	69.8	109	157	218	279	358	436	532	628	742	855	985	1117
190	37.2	66.1	103	149	207	265	339	413	504	595	702	810	934	1058
200	35.3	62.8	98.2	141	196	251	322	393	479	565	668	770	888	1005
220	32.1	57.1	89.3	129	178	228	292	357	436	514	607	700	807	914
240	29.4	52.4	81.9	118	164	209	268	327	399	471	556	641	740	838
250	28.3	50.2	78.5	113	157	201	258	314	383	452	534	616	710	804
260	27.2	48.3	75.5	109	151	193	248	302	368	435	514	592	682	773
280	25.2	44.9	70.1	101	140	180	230	281	342	404	477	550	634	718
300	23.6	41.9	65.5	94	131	168	215	262	320	377	445	513	592	670
320	22.1	39.2	61.4	88	123	157	201	245	299	353	417	481	554	628

表 D11 相对混凝土受压区高度与截面抵抗矩系数界限值 ξ_b 和 $\alpha_{s,max}$

混凝土强度等级		≤ C50	C60	C70	C80
HPB300 钢筋	ξ_b	0.576	0.556	0.537	0.518
	$\alpha_{s,max}$	0.410	0.402	0.393	0.384
HRB335 钢筋 HRBF335 钢筋	ξ_b	0.550	0.531	0.512	0.493
	$\alpha_{s,max}$	0.399	0.390	0.381	0.372
HRB400 钢筋 HRBF400 钢筋 RRB400 钢筋	ξ_b	0.518	0.499	0.481	0.463
	$\alpha_{s,max}$	0.384	0.375	0.365	0.356
HRB500 钢筋 HRBF500 钢筋	ξ_b	0.482	0.464	0.447	0.429
	$\alpha_{s,max}$	0.366	0.357	0.347	0.337